STEVE BRUSATTE

AUGE y CAÍDA de los DINOSAURIOS

La nueva historia de un mundo perdido

DEBATE

AUGE *y* CAÍDA *de los* DINOSAURIOS

La nueva historia de un mundo perdido

STEVE BRUSATTE

Traducción de
Joandomènec Ros

DEBATE

SÍGUENOS EN

megustaleer

@megustaleer

@debatelibros

©megustaleer

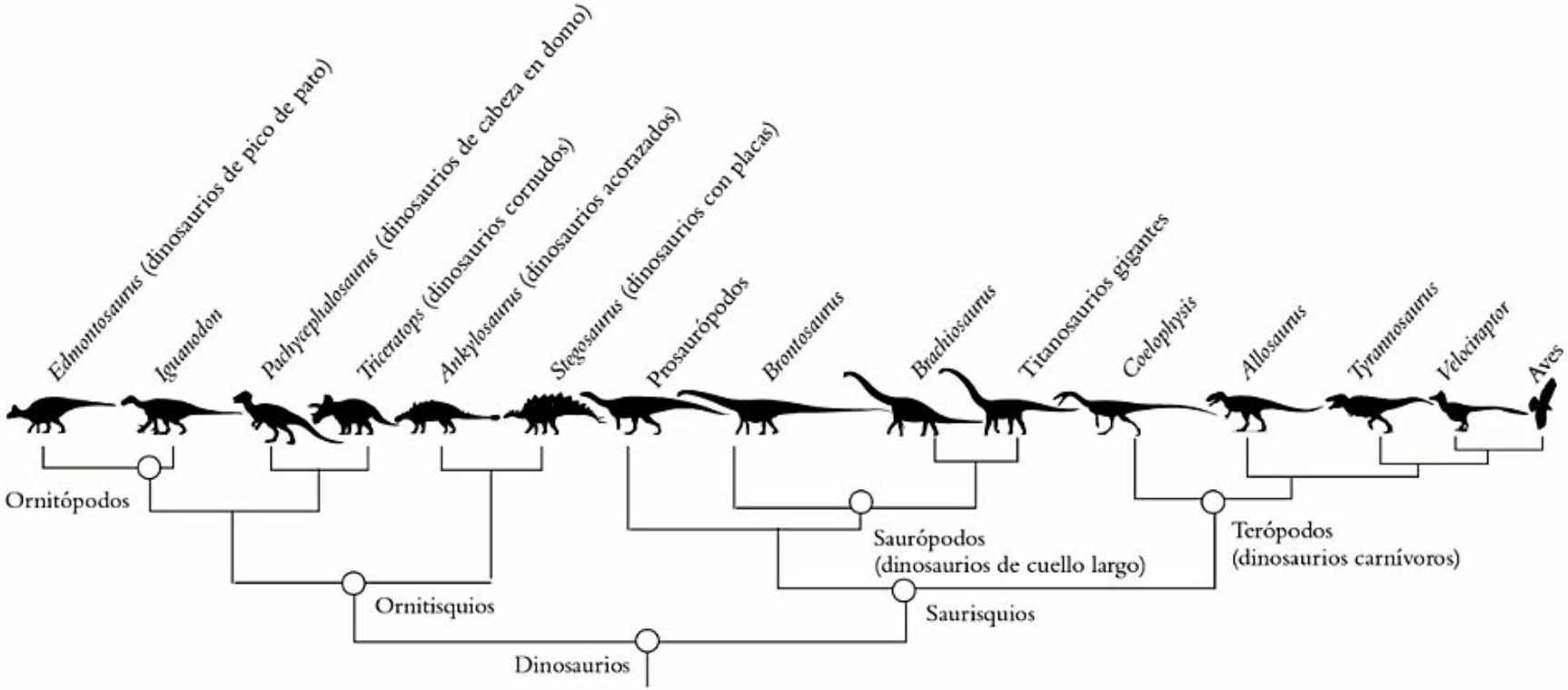
Penguin Random House Grupo Editorial

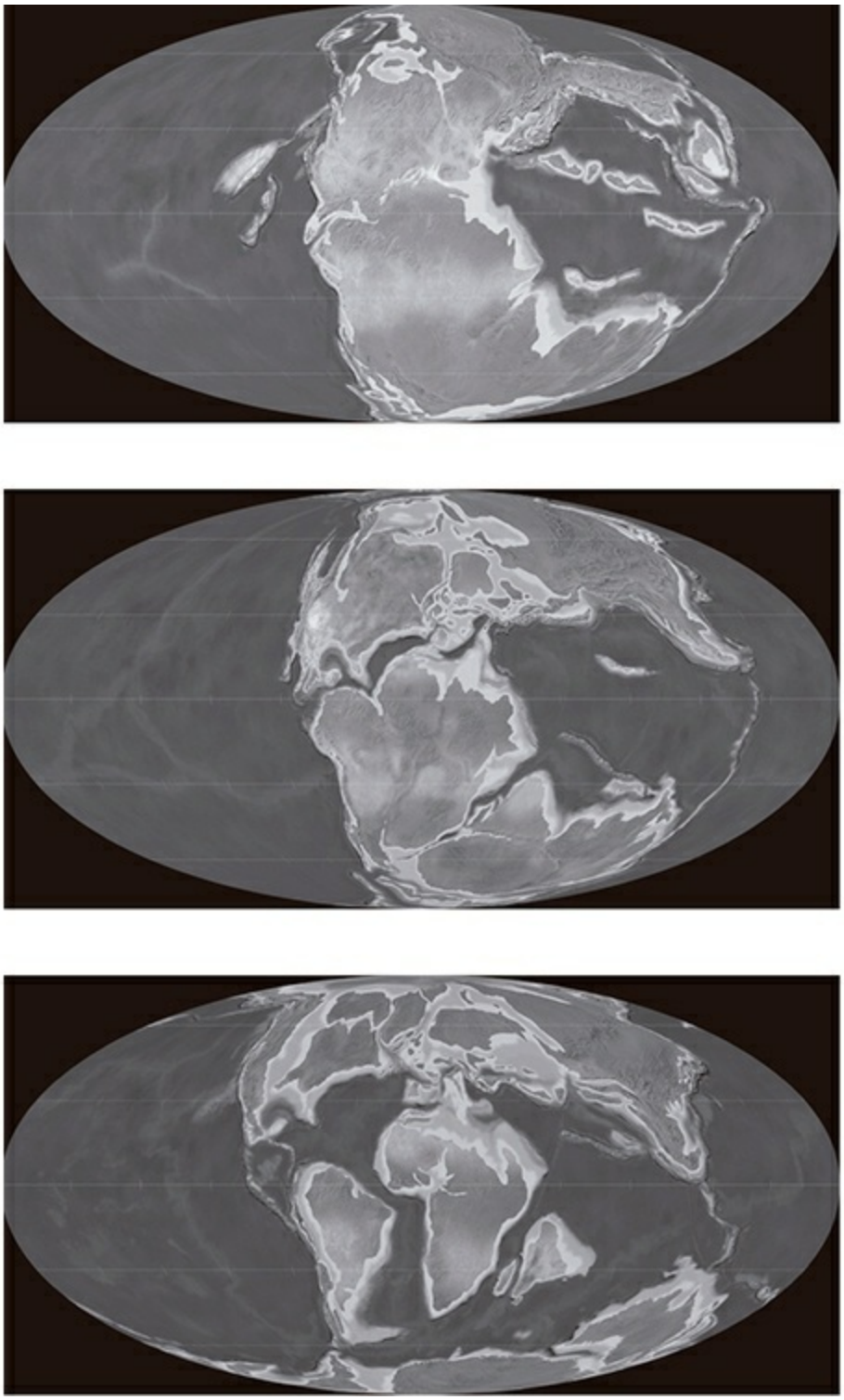
Para el señor Jakupcak, mi primer y mejor profesor de paleontología, y para mi esposa, Anne, y el resto de quienes están enseñando a la siguiente generación

CRONOLOGÍA DE LA ERA DE LOS DINOSAURIOS

ERA PALEOZOICA	ERA MESOZOICA								ERA CENOZOICA	
Pérmico	*Triásico*			*Jurásico*			*Cretácico*		*Paleógeno*	*Periodo*
	Temprano	Medio	Tardío	Temprano	Medio	Tardío	Temprano	Tardío		Época
	252-247	247-237	237-201	201-174	174-164	164-145	145-100	100-66		Edad (millones de años antes del presente)

ÁRBOL GENEALÓGICO DE LOS DINOSAURIOS





Mapas de los continentes en distintos momentos de la historia de la Tierra, © 2016, Colorado Plateau Geosystems, Inc.

PRÓLOGO

La EDAD *de* ORO *de los* DESCUBRIMIENTOS

Zhenyuanlong

Pocas horas antes de que rayara el alba, en una fría mañana de noviembre de 2014, me apeé de un taxi y entré en la estación central de ferrocarril de Beijing. Aferraba el billete mientras me abría paso a través de un enjambre de miles de trabajadores que cogían el tren a primera hora de la mañana; mis nervios iban en aumento a medida que la hora de partida del tren se acercaba. No tenía ni idea de adónde ir. Solo, únicamente con unas pocas palabras de chino en mi vocabulario, todo lo que podía hacer era intentar casar los caracteres pictográficos del billete con los signos de los andenes. Como un depredador a la caza, solo tenía ojos para mi objetivo; subí y bajé rápidamente en los ascensores y pasé por delante de los quioscos y los antros de *noodles* sin detenerme. La maleta, cargada con cámaras, un trípode y otro equipo científico, se deslizaba detrás de mí, arrollando pies y golpeando tobillos. Gritos de enfado parecían llegarme de todas direcciones. Pero no me detuve.

Para entonces estaba sudando a través de mi acolchada chaqueta de invierno, y respiraba con dificultad por el aire viciado. Un motor se puso en marcha en algún lugar frente a mí y sonó un silbato. Un tren estaba a punto de partir. Me tambaleé al bajar la escalera de hormigón que conducía a las vías y, con gran alivio, reconocí los signos. ¡Por fin! Este era mi tren, el que saldría disparado en dirección nordeste hasta Jinzhou, una ciudad del tamaño de Chicago en la antigua Manchuria, a unos cientos de kilómetros de la frontera con Corea del Norte.

Durante las cuatro horas siguientes, intenté ponerme cómodo mientras franqueábamos, a paso de tortuga, las fábricas de cemento y los maizales

envueltos en la bruma. Eché alguna cabezada ocasional, pero no fui capaz de dormir profundamente. Estaba demasiado excitado. Al final del viaje me esperaba un misterio, un fósil con el que se había topado un granjero mientras recogía la cosecha. Yo había visto algunas fotos borrosas que me había enviado mi buen amigo y colega Junchang Lü, uno de los más famosos cazadores de dinosaurios de China. Ambos coincidimos en que parecía importante, quizá incluso uno de esos fósiles que son como el santo grial: una nueva especie, conservada de manera tan inmaculada que se puede apreciar, tal cual, el aspecto que tenía cuando aún respiraba, cuando era una criatura viva, decenas de millones de años en el pasado. Pero teníamos que verlo por nosotros mismos para estar seguros.

Cuando bajé del tren en Jinzhou, ya con Junchang, nos recibió un grupo de dignatarios locales, que tomaron nuestras maletas y nos acomodaron en sendos SUV de color negro. Nos llevaron zumbando al museo municipal, un edificio sorprendentemente anodino a las afueras de la ciudad. Con la seriedad de una cumbre política de alto nivel, nos condujeron a lo largo de un largo corredor iluminado con lámparas de neón parpadeantes hasta una sala lateral, con un par de escritorios y sillas. En equilibrio sobre una pequeña mesa se hallaba un bloque de roca tan pesado que parecía que las patas empezaban a ceder. Uno de nuestros acompañantes habló en chino a Junchang, que se volvió hacia mí e hizo un leve gesto de asentimiento.

«Vamos allá», dijo en su inglés de acento particular, una combinación de la cadencia china con la que creció y el hablar arrastrando las palabras propio de Texas que asimiló cuando estudió un posgrado en Estados Unidos.

Ambos nos pusimos de pie a la vez y nos acercamos a la mesa. Podía sentir las miradas de todo el mundo, así como un silencio inquietante que llenaba la sala, a medida que nos aproximábamos al tesoro.

Ante mí se hallaba uno de los fósiles más hermosos que hubiera visto. Era

un esqueleto del tamaño aproximado de una mula, con los huesos del color pardo del chocolate resaltando sobre el gris apagado de la caliza que los rodeaba. Un dinosaurio, a buen seguro, con unos dientes como cuchillos carniceros, unas garras puntiagudas y una larga cola que no dejaban ninguna duda de que se trataba de un pariente cercano del villano *Velociraptor* de *Jurassic Park.*

Pero no era un dinosaurio ordinario. Los huesos eran livianos y huecos; las patas, largas y delgadas como las de una garza; su esqueleto esbelto era la marca distintiva de un animal activo, dinámico y veloz. Y allí no solo había huesos, sino que, además, todo el cuerpo estaba cubierto de plumas; unas plumas espesas que parecían pelo sobre la cabeza y el cuello, unas largas plumas ramificadas en la cola, y grandes plumas con cañones en los brazos, dispuestas en línea y superpuestas unas sobre otras para formar unas alas.

Este dinosaurio parecía un ave.

Aproximadamente un año después, Junchang y yo describimos este esqueleto como una nueva especie, a la que denominamos *Zhenyuanlong suni*. Es uno de los cerca de quince nuevos dinosaurios que he identificado a lo largo de la última década, a medida que forjaba una carrera en paleontología que me ha llevado desde mis raíces en el Medio Oeste de Estados Unidos hasta un empleo en la universidad en Escocia, con muchas paradas en todo el mundo para encontrar y estudiar dinosaurios.

Zhenyuanlong es diferente a los dinosaurios que descubrí en el colegio, antes de convertirme en científico. A mí me enseñaron que los dinosaurios eran bestias gigantes con escamas y estúpidas, tan poco adaptadas a su ambiente que no podían hacer otra cosa que moverse con pesadez mientras pasaba el tiempo, a la espera de extinguirse. Fracasos evolutivos. Callejones sin salida en la historia de la vida. Bestias primitivas que campaban a sus anchas mucho antes de que los humanos entraran en escena, en un mundo

primigenio que era tan diferente del de hoy que bien pudiera haber sido un planeta extraterrestre. Los dinosaurios eran curiosidades que se podían ver en los museos, monstruos de película que se aparecían en nuestras pesadillas u objetos de la fascinación infantil, absolutamente irrelevantes para nosotros en la actualidad y poco merecedores de ningún estudio serio.

Zhenyuanlong

Pero estos estereotipos son absurdamente erróneos. Han sido desmontados a lo largo de las últimas décadas, a medida que una nueva generación ha recolectado fósiles de dinosaurios a un ritmo sin precedentes. En la actualidad, se encuentra una nueva especie de dinosaurio cada semana, por

término medio, sea en los desiertos de Argentina o en los páramos helados de Alaska. Entendamos bien esto, un nuevo dinosaurio… cada… semana. Esto supone unas cincuenta especies nuevas al año, *Zhenyuanlong* entre ellas. Y no se reduce todo a nuevos descubrimientos, sino también a las nuevas maneras de estudiarlos: tecnologías punteras que ayudan a los paleontólogos a entender la biología y la evolución de los dinosaurios de maneras que nuestros predecesores habrían considerado inimaginables. Se utilizan TAC para estudiar el cerebro y los sentidos de los dinosaurios, los modelos informáticos nos dicen cómo se desplazaban, y los microscopios de alta resolución pueden revelar incluso de qué color eran algunos de ellos. La lista no tiene fin.

Junchang Lü y yo estudiando el espléndido fósil de *Zhenyuanlong*.

Ha sido para mí un gran privilegio formar parte de este entusiasmo, como uno de los muchos paleontólogos jóvenes de todo el globo, hombres y mujeres de entornos diversos, que llegaron a la mayoría de edad en la época

de *Jurassic Park*. Constituimos un buen grupo de investigadores de entre veinte y pocos y treinta y pocos años que trabajamos juntos y con nuestros mentores de la generación precedente. Con cada nuevo descubrimiento, cada nuevo estudio, aprendemos un poco más acerca de los dinosaurios y de su historia evolutiva.

Este es el relato que voy a contar en este libro: la historia épica sobre de dónde procedían los dinosaurios, sobre cómo llegaron a ser dominantes, cómo algunos de ellos alcanzaron un tamaño colosal, cómo otros desarrollaron plumas y alas y se transformaron en aves y, después, desapareció el resto de ellos, allanando en último término el camino para el mundo moderno, y para nosotros. Al hacerlo quiero transmitir cómo hemos ensamblado dicho relato mediante las pistas fósiles que tenemos, así como ofrecer una perspectiva de cómo es ser un paleontólogo cuya ocupación es ir a la caza de dinosaurios.

Pero, por encima de todo, quiero demostrar que los dinosaurios no eran ni alienígenas ni fallos evolutivos, y que ciertamente no son irrelevantes. Tuvieron un éxito notable, medraron durante más de 150 millones de años y dieron lugar a algunos de los animales más asombrosos que hayan vivido jamás… entre los que se incluyen las aves y unas diez mil especies de dinosaurios modernos. Su hogar era nuestro hogar, el mismo planeta Tierra, sometido a cambios climáticos y ambientales tan caprichosos como los que afrontamos nosotros o con los que quizá tendremos que habérnoslas en el futuro. Evolucionaron al unísono con un mundo siempre cambiante, un mundo sometido a monstruosas erupciones volcánicas e impactos de asteroides, y un mundo en el que los continentes se desplazaban, los niveles del mar fluctuaban constantemente y las temperaturas subían y bajaban sin orden ni concierto. Se adaptaron a su entorno a la perfección, pero al final la mayoría de ellos se extinguió al no poder superar una crisis repentina. Sin

duda hay aquí una lección para todos nosotros.

Por encima de todo, el auge y caída de los dinosaurios es un relato increíble, de una época en la que bestias colosales y otras criaturas fantásticas daban forma al mundo. Caminaron sobre el mismo suelo que hay bajo nuestros pies, y sus fósiles se hallan hoy en día sepultados en rocas; son las pistas que cuentan su vida. Para mí, se trata de una de las mayores narraciones en la historia de nuestro planeta.

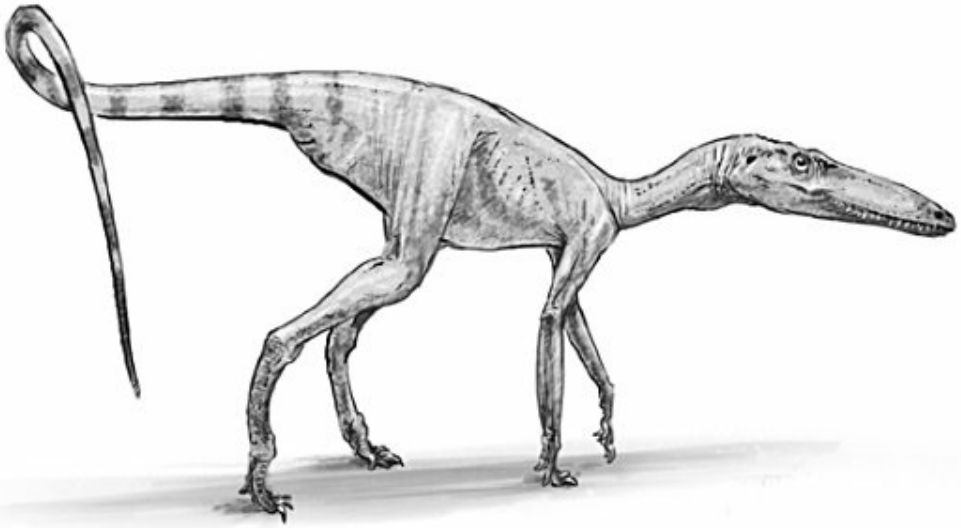
STEVE BRUSATTE

Edimburgo, Escocia

18 de mayo de 2017

I

El ALBA *de los* DINOSAURIOS



Prorotodactylus

«¡Bingo!», exclamó mi amigo Grzegorz Niedźwiedzki mientras señalaba una separación, estrecha como la hoja de un cuchillo, entre una banda delgada de pizarra y una capa más gruesa de una roca más basta, situada directamente encima de aquella. La cantera que estábamos explorando, cerca de la minúscula aldea de Zachełmie, había sido antiguamente una fuente de apreciada caliza, pero hacía ya tiempo que estaba abandonada. El paisaje circundante estaba lleno de chimeneas deterioradas y otros restos del pasado industrial del área central de Polonia. Los mapas indicaban de forma engañosa que nos hallábamos en la sierra de Santa Cruz, un triste retazo de colinas antaño imponentes, pero que hoy están aplanadas por millones de años de erosión. El cielo estaba gris, los mosquitos picaban, el calor rebotaba desde el suelo de la cantera y las únicas otras personas que vimos eran una pareja de excursionistas extraviados que debían de haber tomado un desvío trágicamente equivocado.

«Esto es la extinción —dijo Grzegorz con una amplia sonrisa que le arrugaba una barba incipiente, fruto de varios días de trabajo de campo sin afeitarse—. Abajo hay muchas huellas de grandes reptiles y de sus primos mamíferos, pero después desaparecen. Y arriba, no se ve nada durante un rato y, después, dinosaurios.»

Podía parecer que estábamos contemplando unas rocas en una cantera cubierta de vegetación, pero lo que estábamos observando realmente era una revolución. Las rocas registran la historia; cuentan relatos de un pasado muy antiguo, de mucho antes de que los humanos caminaran sobre la Tierra. Y la narración que teníamos ante nosotros, escrita en la piedra, era la leche. Ese

cambio en las rocas, quizá solo detectable para los ojos muy preparados de un científico, documenta uno de los momentos más increíbles de la historia de la Tierra. Una breve ocasión en la que el mundo cambió, un punto de inflexión que tuvo lugar hace unos 252 millones de años, antes de nosotros, antes de los mamuts lanudos, antes de los dinosaurios, pero que todavía reverbera en la actualidad. Si en aquel entonces las cosas se hubieran desarrollado de forma algo diferente, quién sabe qué aspecto tendría el mundo moderno… Es como preguntarse qué podría haber ocurrido si no hubieran asesinado al archiduque.

Si hubiéramos estado en este mismo lugar hace 252 millones de años, durante una porción de tiempo que los geólogos denominan «periodo Pérmico», nuestro entorno apenas habría sido reconocible. No habría fábricas en ruinas ni otras señales de vida humana. No habría aves en el cielo ni ratones echándose a la carrera bajo nuestros pies, ni matorrales floridos que nos arañaran, ni mosquitos que se alimentaran de nuestros cortes. Todas estas cosas evolucionarían más tarde. Pero seguro que habríamos estado sudando, porque hacía calor y había una humedad insoportable, probablemente más insufrible que Miami en pleno verano. Ríos enfurecidos drenarían la sierra de Santa Cruz, que entonces sí que era un conjunto de montañas de verdad, con puntiagudas cumbres nevadas que se introducían cientos de metros entre las nubes. Los ríos serpentearían a través de enormes bosques de coníferas primitivas, parientes de los pinos y enebros actuales, para desaguar en una gran cuenca que flanqueaba las colinas, tachonada de lagos que crecían en la estación de las lluvias, pero que se secaban cuando terminaban los monzones.

Estos lagos eran la fuente de vida del ecosistema local, abrevaderos que proporcionaban un oasis frente al fuerte calor y al viento. Hasta allí acudía

toda suerte de animales, pero no como los que conocemos. Había salamandras viscosas más grandes que un perro, que deambulaban cerca de la orilla y ocasionalmente capturaban algún pez que se cruzaba en su camino. Unas bestias corpulentas llamadas «pareiasaurios» anadeaban a cuatro patas; su piel con protuberancias, su complexión pesada en la parte delantera y su aspecto tosco en general los hacían parecer una línea de ataque apabullante de formas reptilianas. Unos bichos pequeños y gordos llamados «dicinodontes» hurgaban en el fango igual que los cerdos y empleaban sus aguzados colmillos para extraer sabrosas raíces. Señoreando sobre todos ellos estaban los gorgonopsios, monstruos del tamaño de osos que reinaban en la cumbre de la cadena trófica con sus caninos como sables, que rajaban las entrañas de los pareiasaurios y la carne de los dicinodontes. Este extravagante elenco dominaba el mundo justo antes de los dinosaurios.

Llegado un punto, la Tierra empezó a retumbar a gran profundidad. No habríamos podido notarlo en la superficie, al menos cuando empezó, hace unos 252 millones de años. Ocurría a 80 kilómetros, quizá a 170 kilómetros bajo tierra, en el manto, la capa intermedia del bocadillo corteza-manto-núcleo de la estructura de la Tierra. El manto es roca sólida tan caliente y sometida a una presión tan intensa que, a lo largo de largos tramos del tiempo geológico, puede fluir como un blandiblú extraviscoso. De hecho, el manto tiene corrientes, como un río. Estas corrientes son las que impulsan el sistema de cinta transportadora de la tectónica de placas, las fuerzas que fragmentan la delgada corteza externa en unas placas que en el transcurso del tiempo se desplazan unas con respecto a otras. No tendríamos montañas ni océanos ni superficie habitable sin las corrientes del manto. Sin embargo, de vez en cuando, una de las corrientes se descontrola. Una serie de penachos calientes de roca líquida se desgajan y empiezan a abrirse paso hacia arriba, hacia la superficie, para finalmente estallar a través de los volcanes. Se los denomina

«puntos calientes». Son raros, pero Yellowstone es un ejemplo actual de un punto caliente activo. La entrada continua de calor procedente de las profundidades de la Tierra es lo que hace funcionar al Old Faithful y a los demás géiseres.

Esto mismo ocurría a finales del periodo Pérmico, pero a una escala continental. Debajo de Siberia empezó a formarse un enorme punto caliente. Las corrientes de roca líquida se abrieron paso a través del manto hasta la corteza, salieron de los volcanes e inundaron completamente la región. No se trataba de volcanes ordinarios como aquellos con los que estamos más familiarizados, esos montículos en forma de cono que permanecen inactivos durante décadas y después explotan de vez en cuando, expulsando un montón de cenizas y lava, como el monte Saint Helens o el Pinatubo. No entraban en erupción con el vigor de esos artilugios impulsados con vinagre y bicarbonato que muchos de nosotros preparamos como experimentos en las ferias de ciencia. No, estos volcanes no eran más que grandes grietas en el suelo, a veces de varios kilómetros de longitud, que vomitaban lava continuamente, año tras año, década tras década, siglo tras siglo. Las del final del Pérmico duraron unos cuantos cientos de miles de años, quizá incluso algunos millones de años. Hubo algunos estallidos eruptivos muy grandes y periodos más tranquilos de flujo más lento. En resumidas cuentas, expulsaron suficiente lava para anegar varios millones de kilómetros cuadrados del norte y del centro de Asia. Aún hoy en día, más de 250 millones de años después, las negras rocas basálticas que se formaron cuando esta lava se hubo endurecido cubren cerca de un millón y medio de kilómetros cuadrados en Siberia, casi la misma superficie terrestre que Europa Occidental.

Imagínese el lector un continente abrasado por la lava, el desastre apocalíptico de una mala película de serie B. Baste decir que todos los pareiasaurios, dicinodontes y gorgonopsios que vivían en cualquier lugar

cercano al código de área de Siberia desaparecieron. Pero fue peor que eso. Cuando los volcanes entran en erupción, no expulsan solo lava, sino también calor, polvo y gases nocivos, que, a diferencia de la primera, pueden afectar al planeta entero. Al final del Pérmico, fueron los agentes reales de muerte e iniciaron una cascada de destrucción que duraría millones de años y que, en el proceso, cambiaría el mundo de manera irrevocable.

El polvo salió disparado a la atmósfera, contaminó las corrientes de aire a gran altitud y se extendió por todo el mundo, tapando la luz del sol e impidiendo que las plantas fotosintetizaran. Los bosques de coníferas, antaño exuberantes, desaparecieron, de manera que los pareiasaurios y los dicinodontes se vieron sin plantas de las que alimentarse, con lo que los gorgonopsios también acabaron quedándose sin carne con la que nutrirse. Las cadenas tróficas empezaron a desmoronarse. Parte del polvo cayó a través de la atmósfera, mezclado con gotas de agua, en forma de lluvia ácida, lo que exacerbó la situación de deterioro del suelo. A medida que más plantas perecían, el paisaje se iba haciendo infértil e inestable, lo que condujo a una erosión masiva cuando las avalanchas de barro eliminaron trechos enteros de bosques en putrefacción. Esta es la razón por la que las finas pizarras de la cantera de Zachełmie, un tipo de roca que indica ambientes calmados y tranquilos, dieron paso de repente a las rocas más bastas y llenas de pedruscos tan características de las corrientes de movimiento rápido y de las tormentas corrosivas. Se propagaron grandes incendios por una tierra llena de cicatrices, lo que hizo aún más difícil la supervivencia de plantas y animales.

Pero estos fueron solo los efectos a corto plazo, lo que ocurrió pasados días, semanas y meses después de que una intrusión de lava particularmente grande surgiera de las fisuras siberianas. Los efectos a largo plazo fueron incluso más mortíferos. Con la lava se liberaron nubes asfixiantes de dióxido de carbono. Como sabemos muy bien en la actualidad, el dióxido de carbono

es un potente gas de efecto invernadero, que absorbe radiación en la atmósfera y la reenvía a la superficie, caldeando la Tierra. El dióxido de carbono expulsado por las erupciones siberianas no hizo subir el termostato solo unos pocos grados; provocó un efecto invernadero desbocado que hizo hervir el planeta. Pero también hubo otras consecuencias. Aunque buena parte del dióxido de carbono fue a la atmósfera, otra cantidad considerable se disolvió en el océano. Esto provocó una cadena de reacciones químicas que hicieron que el agua oceánica fuese más ácida; una mala cosa, en particular para los organismos marinos con conchas y caparazones de fácil disolución. Por eso no nos bañamos en vinagre. Además, dicha reacción en cadena hace desaparecer una gran cantidad de oxígeno de los océanos, otro problema serio para quien viva en el agua o cerca de ella.

Las descripciones de desastres y catástrofes podrían seguir a lo largo de páginas, pero el resumen es que el final del Pérmico fue una muy mala época para estar vivo, pues se dio el mayor episodio de mortandad en masa de la historia de nuestro planeta. Desapareció alrededor del 90 por ciento de todas las especies. Los paleontólogos tienen un término específico para un acontecimiento como este, en el que un número enorme de plantas y animales mueren en todo el mundo en un periodo breve: el de «extinción en masa». Ha habido cinco extinciones en masa particularmente graves en los últimos 500 millones de años. La que tuvo lugar hace 66 millones de años, al final del Cretácico, que se saldó con la desaparición de los dinosaurios, es seguramente la más famosa. Más adelante volveremos a ella; pero, por horrible que fuera, no fue en absoluto tan devastadora como la que tuvo lugar al final del Pérmico. Aquel momento en el tiempo, hace 252 millones de años, cuya crónica se recoge en el rápido cambio de pizarras a rocas guijarrosas en la cantera polaca, fue lo más cerca que estuvo la vida de ser eliminada por completo.

Después las cosas mejoraron. Siempre lo hacen. La vida es resiliente, y algunas especies son siempre capaces de superar incluso las peores catástrofes. Los volcanes siguieron en erupción durante algunos millones de años y, llegado un momento, se detuvieron, cuando el punto caliente perdió fuerza. Al cesar el azote de la lava, el polvo y el dióxido de carbono, los ecosistemas se estabilizaron gradualmente. Las plantas empezaron a crecer de nuevo y se diversificaron. Proporcionaron nuevo alimento a los herbívoros, que a su vez aportaron carne a los carnívoros. Las redes tróficas se restablecieron. Esta recuperación tardó al menos cinco millones de años en producirse y, cuando se consumó, las cosas mejoraron, pero pasaron a ser muy diferentes. Los gorgonopsios, pareiasaurios y afines que habían dominado anteriormente ya no acecharían las riberas lacustres de Polonia ni de ninguna otra región, mientras que los intrépidos supervivientes tenían toda la Tierra para ellos. Un mundo en gran parte vacío, una frontera no colonizada. El Pérmico había asistido a la transición hacia el siguiente intervalo de tiempo geológico, el Triásico, y las cosas no volverían nunca a ser iguales. Los dinosaurios estaban a punto de hacer su aparición.

Cuando era un joven paleontólogo, deseaba comprender exactamente cómo había cambiado el mundo como resultado de la extinción del final del Pérmico. ¿Qué formas habían perecido y cuáles habían sobrevivido? ¿Y por qué? ¿Con qué rapidez se habían recuperado los ecosistemas? ¿Qué nuevos tipos de organismos nunca imaginados antes habían aparecido de las tinieblas postapocalípticas? ¿Qué aspectos del mundo moderno se habían forjado por vez primera en las lavas del Pérmico?

Solo hay una manera de empezar a dar respuesta a estas preguntas. Hay que salir y encontrar fósiles. Si se ha cometido un asesinato, un detective

empieza con el estudio del cadáver y de la escena del crimen, y busca huellas, cabello, fibras de ropa u otras pistas para contar el relato de lo que ha acontecido, y así llegar hasta el culpable. Las pistas de los paleontólogos son los fósiles. Son la moneda de nuestro campo, los únicos registros de cómo vivieron y evolucionaron aquellos organismos que llevan muchísimo tiempo extinguidos.

Un fósil es cualquier señal de vida antigua, y se presenta en muchas formas. Los fósiles más conocidos son huesos, dientes y conchas; las partes duras que forman el esqueleto de un animal. Después de quedar enterrados en arena o fango, estos fragmentos son sustituidos gradualmente por minerales y se transforman en roca, dejando un fósil. A veces, los objetos blandos como hojas o bacterias también se fosilizan, a menudo al dejar impresiones sobre la roca. Lo mismo ocurre a veces con las partes blandas de animales, como piel, plumas o incluso músculos y órganos internos. Pero para dar con estos fósiles hemos de tener mucha suerte; los animales han de quedar enterrados tan rápidamente que no haya tiempo para que estos tejidos frágiles se descompongan o para que los devoren los depredadores.

Lo que acabo de describir es lo que llamamos un «fósil corporal», una parte real de una planta o un animal que se convierte en piedra. Pero existe otro tipo, lo que se conoce como «fósil de rastro», que registra la presencia o el comportamiento de un organismo o conserva algo que un organismo produjo. El mejor ejemplo es una huella; otros son madrigueras, marcas de mordeduras, coprolitos (excrementos fosilizados) y huevos y nidos. Estos fósiles llegan a ser particularmente valiosos, porque pueden decirnos cómo los animales extintos interactuaban entre sí y con su ambiente; cómo se desplazaban, qué comían, dónde vivían y cómo se reproducían.

Los fósiles que a mí me interesan en particular pertenecen a los dinosaurios y a los animales que había inmediatamente antes que ellos. Los

primeros vivieron durante tres periodos de la historia geológica: el Triásico, el Jurásico y el Cretácico, que colectivamente constituyen la era Mesozoica. El periodo Pérmico (cuando aquel extraño y maravilloso elenco de criaturas retozaba a lo largo de los lagos polacos) se sitúa inmediatamente antes del Triásico. A menudo pensamos en los dinosaurios como animales antiguos, pero en realidad son unos relativamente recién llegados a la historia de la vida.

La Tierra se formó hace unos 4.500 millones de años, y las primeras bacterias microscópicas evolucionaron unos cuantos cientos de millones de años después. Durante unos 2.000 millones de años, fue un mundo bacteriano. No había plantas ni animales, nada que pudiera verse fácilmente a simple vista, si acaso hubiéramos estado allí. Y entonces, en algún momento hace unos 1.800 millones de años, estas células sencillas desarrollaron la capacidad de agruparse en organismos mayores y más complejos. Una edad de hielo global (que cubrió de glaciares casi todo el planeta, hasta los mismos trópicos) vino y se fue, y en el desenlace hicieron aparición los primeros animales. Al principio eran simples, sacos blandos y viscosos como esponjas y medusas, hasta que se desarrollaron conchas y esqueletos. Hace unos 540 millones de años, durante el periodo Cámbrico, estas formas con esqueletos eclosionaron en múltiples variaciones, se hicieron abundantísimas, empezaron a comerse unas a otras y dieron lugar a la constitución de ecosistemas complejos en los océanos. En algunos de estos animales se formaron esqueletos hechos de huesos; fueron los primeros vertebrados, que tenían el aspecto de unos piscardos pequeños y endebles. Pero también ellos continuaron diversificándose y, llegado un punto, algunos vieron sus aletas transformadas en patas, desarrollaron dedos y emergieron a tierra hace unos 390 millones de años. Estos fueron los primeros tetrápodos, y entre sus descendientes se incluyen todos los vertebrados que viven en la actualidad en

tierra: ranas y salamandras, cocodrilos y serpientes, y, más tarde, dinosaurios y nosotros.

Conocemos esta historia gracias a los fósiles; miles de esqueletos, dientes, huellas y huevos encontrados en todo el mundo por generaciones de paleontólogos. Vivimos obsesionados con encontrar fósiles, y se nos conoce por nuestros esfuerzos considerables (y a veces estúpidos) para descubrir nuevos restos. Pueden estar en un pozo de caliza en Polonia o quizá en un despeñadero detrás de un supermercado, en un montón de pedruscos de desecho de una obra o en las paredes de roca de un vertedero maloliente. Si hay fósiles que encontrar, entonces siempre habrá un paleontólogo intrépido (o estúpido) que se enfrentará al calor, al frío, a la lluvia, a la nieve, a la humedad, al polvo, al viento, a lugares pestilentes o a las zonas de guerra que encuentre en el camino.

Esta es la razón por la que empecé a ir a Polonia. La primera visita fue en el verano de 2008, cuando tenía veinticuatro años y acababa de terminar el máster e iba a empezar el doctorado; fui a estudiar algunos nuevos e intrigantes fósiles de reptiles que se habían encontrado unos años antes en Silesia, un segmento del sudoeste de Polonia que durante años se disputaron polacos, alemanes y checos. Los fósiles se guardaban en un museo en Varsovia, como tesoros del Estado polaco. Recuerdo el alboroto mientras me acercaba a la estación central de la capital, en un tren con retraso procedente de Berlín; las sombras nocturnas cubrían la espantosa arquitectura de la era de Stalin en una ciudad reconstruida a partir de las ruinas de la guerra.

Al bajar del tren, eché un vistazo a la muchedumbre. Se suponía que tenía que haber alguien que sostuviera un cartel con mi nombre. Había organizado la visita mediante una serie de mensajes formales de correo electrónico con un profesor polaco veterano que había encargado a uno de sus estudiantes de posgrado que me fuera a buscar a la estación y me guiara hasta el pequeño

cuarto de huéspedes del Instituto Polaco de Paleobiología en el que me alojaría, solo unos pocos pisos por encima de donde se guardaban los fósiles. No tenía ni idea de a quién tenía que buscar y, puesto que el tren había llegado con más de una hora de retraso, imaginé que el estudiante ya se habría esfumado, de vuelta al laboratorio, abandonándome a mi suerte para desplazarme por una ciudad desconocida, en pleno crepúsculo, sin más palabras en polaco que las del glosario de mi guía turística.

Justo cuando empezaba a entrarme el pánico, vi una hoja de papel blanco ondeando al viento, con mi nombre garabateado apresuradamente en él. La sostenía un hombre joven, con un corte al rape, al estilo militar, en el que empezaban a insinuarse entradas, como en el mío. Tenía unos ojos oscuros y entornados. Una fina barba de varios días le cubría la cara, y la tez parecía algo más morena que la de la mayoría de los polacos que yo conocía, casi bronceada. Había algo vagamente siniestro en él, pero se disipó al instante, en cuanto me reconoció mientras me acercaba. Rompió en una amplia sonrisa, me cogió el equipaje y me estrechó con firmeza la mano. «Bienvenido a Polonia. Me llamo Grzegorz. ¿Te parece que vayamos a cenar algo?»

Ambos estábamos cansados, yo del largo viaje en tren, Grzegorz de trabajar todo el día en la descripción de un nuevo lote de huesos fósiles que él y su equipo de estudiantes acababan de encontrar en el sudeste de Polonia unas semanas antes, de ahí el bronceado de campo que mostraba. Con todo, terminamos tomando unas cuantas cervezas y hablando de fósiles durante horas. Era un tipo con un entusiasmo por los dinosaurios tan franco como el mío, y rebosaba de ideas iconoclastas acerca de lo que había ocurrido tras la extinción del final del Pérmico.

Nos hicimos amigos íntimos. Durante el resto de aquella semana, colaboramos en el estudio de los fósiles polacos y, durante los cuatro veranos siguientes, volví a Polonia para hacer trabajo de campo con él, a menudo

junto con el tercer mosquetero de nuestra banda, el joven paleontólogo británico Richard Butler. A lo largo de aquellos años, encontramos muchos fósiles y llegamos a algunas ideas novedosas acerca de cómo había tenido lugar el arranque evolutivo de los dinosaurios en el estimulante periodo posterior a la extinción de finales del Pérmico. Además, fui testigo de la transición de Grzegorz de un entusiasta estudiante de posgrado, aún algo modesto, a uno de los paleontólogos más importantes de Polonia. Unos años antes de cumplir los treinta, descubrió, en otro rincón de la cantera de Zachełmie, la huella de una pista dejada por uno de aquellos primeros animales pisciformes que salieron del agua y se adentraron en tierra firme, hace unos 390 millones de años. El hallazgo se publicó en la cubierta de *Nature*, una de las revistas científicas más importantes del mundo. Fue invitado a una audiencia especial con el primer ministro de Polonia y dio una charla TED. Su rostro acerado (no sus descubrimientos fósiles, él) apareció en la portada de la *National Geographic* polaca.

Se había convertido en una celebridad científica, pero lo que a Grzegorz le gustaba más que nada era salir a la naturaleza en busca de fósiles. Se definía a sí mismo como «animal de campo» y explicaba que le gustaba acampar y abrirse paso a machetazos entre la maleza mucho más que rodearse de las maneras elegantes de Varsovia. No podía evitarlo. Había crecido en los alrededores de Kielce, la ciudad más importante de la región de la sierra de Santa Cruz, y coleccionaba fósiles desde niño. Había desarrollado un talento especial para encontrar un tipo que muchos paleontólogos ignoran: los fósiles de rastros. Huellas, impresiones de manos, surcos dejados al arrastrar la cola; las marcas que los dinosaurios y otros animales dejaron al desplazarse sobre el fango o la arena, mientras se dedicaban a actividades cotidianas como cazar, ocultarse, aparearse, socializar, alimentarse o deambular. Estaba absolutamente enamorado de estos rastros. Un animal tiene únicamente un

esqueleto, pero puede dejar millones de huellas, me recordaba a menudo. Cual agente de la inteligencia polaca, sabía cuáles eran los mejores lugares para encontrarlos. Después de todo, esa región era el patio de su casa. Era de hecho el patio de casa apropiado para crecer, porque resultó que los lagos estacionales infestados de animales que habían cubierto la zona durante el Pérmico y el Triásico eran los ambientes perfectos para conservar rastros.

Durante aquellos cuatro veranos, nos entregamos al amor de Grzegorz por los rastros. Richard y yo le seguimos a todas partes mientras nos conducía a muchas de sus localidades secretas, que consistían en su mayor parte en canteras abandonadas, fragmentos de rocas que asomaban entre las aguas de riachuelos y los montones de residuos que había a lo largo de las zanjas de las muchas carreteras que se estaban construyendo en la zona, donde los obreros arrojaban las losas de piedra que cortaban cuando tendían el asfalto. Encontramos muchos fósiles. O, más bien, Grzegorz los encontró. Tanto Richard como yo desarrollamos la capacidad de ver las huellas de manos y pies, por lo general pequeñas, dejadas por lagartos, anfibios y parientes tempranos de dinosaurios y cocodrilos, pero nunca pudimos competir con el maestro.

Los miles de rastros que Grzegorz descubrió durante las dos décadas de recolección, junto con la miserable cantidad con la que dimos Richard y yo, terminaron por contar una historia. Había muchos tipos de rastros, pertenecientes a toda una miríada de criaturas diferentes. Y no procedían de un solo momento en el tiempo, sino de una secuencia de decenas de millones de años, que comenzaba en el Pérmico y continuaba a través de la gran extinción hasta el Triásico, llegando a alcanzar incluso el siguiente intervalo de tiempo geológico, el periodo Jurásico, que empezó hace unos 200 millones de años. Cuando los lagos estacionales se desecaron, dejaron enormes llanos fangosos por cuya superficie anduvieron los animales, dejando sus marcas.

Los ríos aportaron un caudal ininterrumpido de nuevos sedimentos, que cubrieron estas llanuras, enterrándolas y transformándolas en piedra. El ciclo se repitió un año tras otro, de modo que en la actualidad hay un estrato tras otro de rastros en la sierra de Santa Cruz. Para los paleontólogos esto es un venero, la oportunidad de ver cómo los animales y los ecosistemas cambiaron a lo largo del tiempo, en particular después de la catastrófica extinción del final del Pérmico.

Identificar qué animales dejaron qué rastro concreto se realiza de manera relativamente directa mediante la comparación de la forma de la marca con la de manos y pies. ¿Cuántos dedos hay? ¿Cuáles son más largos? ¿Hacia dónde se dirigen? ¿Solo ha quedado la impresión de los dedos o también la de la palma de la mano o la del arco del pie? ¿Los rastros izquierdo y derecho están muy juntos, como corresponde a un animal cuyas patas se encuentran alineadas debajo del cuerpo, o están muy separados, lo que sería indicativo de un animal con las patas extendidas hacia cada lado? Por lo normal, si se sigue esta lista de control, se puede dilucidar qué grupo general de animales dejó los rastros en cuestión. Precisar una especie exacta es casi imposible, pero distinguir los rastros de un reptil de los de un anfibio, o los de un dinosaurio de los de un cocodrilo, es más o menos fácil.

Los rastros del Pérmico de la sierra de Santa Cruz son diversos, y la mayoría están hechos por anfibios, pequeños reptiles y sinápsidos primitivos, progenitores de los mamíferos que a menudo aparecen en los libros infantiles y en las exposiciones museísticas, descritos de manera irritante e incorrecta como reptiles parecidos a mamíferos (aunque en realidad no son reptiles). Los gorgonopsios y los dicinodontes son dos tipos de estos sinápsidos primitivos. Según todos los indicios, los ecosistemas del Pérmico tardío eran robustos; había muchas variedades de animales, algunos pequeños y otros de más de tres metros de longitud y del orden de una tonelada, que convivían y

prosperaban en el clima árido a lo largo de los lagos estacionales. Sin embargo, no hay señales de rastros de dinosaurios o de cocodrilos en los estratos del Pérmico, ni siquiera algún rastro que pudiera corresponder a unos precursores de estos animales.

Todo cambia en el límite Pérmico-Triásico. Seguir los rastros en el transcurso de la extinción es como leer un libro arcano en el que un capítulo en inglés sigue a otro escrito en sánscrito. El Pérmico tardío y el Triásico temprano parecen dos mundos diferentes, algo destacable, pues los rastros se dejaron todos en idéntico lugar, en exactamente los mismos ambiente y clima. Polonia meridional no dejó de ser una húmeda tierra de lagos, regada por rápidos arroyos de montaña en el cambio del Pérmico al Triásico. No, fueron los propios animales los que cambiaron.

Se me ponen los pelos de punta cuando contemplo los primeros rastros del Triásico. Puedo sentir a gran distancia el espectro de la muerte. Apenas hay rastros, tan solo algunas pequeñas impresiones aquí y allá, pero pueden encontrarse muchas madrigueras que penetran en la roca en profundidad. Parece que el mundo de la superficie quedó aniquilado y que cualesquiera animales que habitasen en ese paisaje torturado se ocultaban bajo tierra. Casi todos los rastros pertenecen a pequeños lagartos y parientes de los mamíferos, probablemente no mucho mayores que una marmota. Gran parte de los distintos rastros del Pérmico han desaparecido, en particular los de los sinápsidos protomamíferos de mayor tamaño, que no vuelven a aparecer jamás.

Las cosas empiezan a mejorar a lo largo del tiempo. Aparecen más tipos de rastros, algunas impresiones son mayores y el número de madrigueras se reduce. Parece claro que el mundo se estaba recuperando de la conmoción producida por los volcanes a finales del Pérmico. Más adelante, hace unos 250 millones de años, solo un par de millones de años después de la

extinción, empieza a aparecer un nuevo tipo de rastros. Son pequeños, de solo unos pocos centímetros de longitud, aproximadamente del tamaño de la pata de un gato. Unas manos de cinco dedos, con las huellas algo mayores de los pies detrás, las cuales constan de tres grandes dedos centrales flanqueados por sendos dedos pequeños a cada lado, se disponen en rastros de poca anchura. El mejor lugar para encontrarlas es cerca de una minúscula aldea polaca llamada Stryczowice, donde se puede aparcar el coche en un puente, abrirse camino entre espinas y zarzas, y husmear en las orillas de un riachuelo estrecho, atestado de losas de roca cubiertas de rastros. Grzegorz descubrió el lugar cuando era joven, y una vez me llevó allí lleno de orgullo, un desagradable día de julio de obscena humedad, bichos, lluvia y truenos. A los pocos minutos de abrirnos paso a través de los hierbajos, estábamos empapados, y el cuaderno de campo se deformaba al tiempo que la tinta empezaba a correrse de las páginas.

Encontramos allí unos rastros que reciben el nombre científico de *Prorotodactylus*. Grzegorz no estaba seguro del todo de qué hacer con ellos. Ciertamente, eran diferentes de los otros rastros que había en el mismo lugar, así como de todos los rastros del Pérmico. Pero ¿qué tipo de animal los había dejado? Él tenía la intuición de que podían tener relación con los dinosaurios, porque un viejo paleontólogo llamado Hartmut Haubold había informado en la década de 1960 de rastros similares en Alemania y había sugerido que eran de dinosaurios primitivos o primos cercanos de estos. Pero para Grzegorz había detalles que no encajaban. Había pasado la mayor parte de su joven carrera estudiando rastros, pero en cambio no había dedicado mucho tiempo al estudio de esqueletos reales de dinosaurios, de modo que para él era difícil hacer corresponder los rastros a un animal que los hubiera dejado. En este punto entraba yo. Para el trabajo de máster, había elaborado un árbol genealógico de los reptiles del Triásico en el que se mostraba de qué manera

estaban relacionados los primeros dinosaurios con los demás animales de la época. Había pasado meses estudiando los huesos de las colecciones de los museos, de modo que conocía bastante bien la anatomía de los primeros dinosaurios, al igual que Richard, que había escrito la tesis doctoral sobre la evolución de estos animales. Unimos nuestros cerebros para tratar de resolver quién sería el responsable de los rastros *Prorotodactylus*, y llegamos, en efecto, a la conclusión de que se trataba de un animal de aspecto muy parecido a los dinosaurios. Presentamos esta interpretación en un artículo científico publicado en 2010.

Grzegorz Niedźwiedzki examina un modelo a tamaño natural del autor de las huellas *Prorotodactylus*, un protodinosaurio muy parecido al ancestro que dio lugar a los dinosaurios. *Cortesía de Grzegorz Niedzwiedzki.*

La huella de una mano superpuesta a la huella de un pie de *Prorotodactylus*, procedente de Polonia. Para la escala, la huella de la mano tiene unos dos centímetros y medio de longitud.

Las pistas, desde luego, están en los detalles de los rastros. Cuando observo los rastros *Prorotodactylus*, lo primero que me llama la atención es que son muy estrechos. Existe solo un pequeño espacio entre los rastros izquierdo y derecho en la secuencia, nada más que unos pocos centímetros. Hay únicamente una manera para que un animal deje un rastro como este: que ande erguido, con brazos y piernas directamente debajo del cuerpo. Nosotros andamos erguidos, de modo que cuando dejamos huellas en la playa, las del pie derecho y las del pie izquierdo quedan muy juntas. Lo mismo ocurre con los caballos; observe el patrón de las impresiones que dejan las herraduras de un caballo al galope la próxima vez que visite una granja (o que apueste unos euros en el hipódromo), y verá lo que quiero decir. Pero en realidad este modo de andar es muy raro en el reino animal.

Las salamandras, las ranas y los lagartos se desplazan de una manera distinta; los brazos y las piernas les sobresalen lateralmente con respecto al cuerpo, están despatarrados, lo que se traduce en que dejan rastros mucho más amplios, con una gran separación entre el rastro izquierdo y el derecho dejados por sus extremidades abiertas.

El mundo del Pérmico estaba dominado por animales despatarrados. Sin embargo, después de la extinción, surgió un nuevo grupo de reptiles que habían evolucionado a partir de aquellos, pero que habían desarrollado la postura erguida: los arcosaurios. Fue un acontecimiento evolutivo trascendental. Andar despatarrado está muy bien para bichos de sangre fría que no necesitan desplazarse muy deprisa. Pero la posición de las extremidades debajo del cuerpo abre todo un nuevo mundo de posibilidades. Se puede correr más deprisa, recorrer distancias más largas o seguir la pista de las presas con mayor facilidad, todo de manera más eficiente, gracias al menor gasto de energía que implica el movimiento ordenado de las extremidades columnares, hacia delante y hacia atrás, con respecto al movimiento ondulatorio de un animal despatarrado.

Quizá nunca sepamos exactamente por qué algunos de estos animales empezaron a andar erguidos, pero probablemente fue una consecuencia de la extinción del final del Pérmico. Es fácil imaginar que esta nueva disposición confirió a los arcosaurios una ventaja durante el caos posterior a la extinción, cuando los ecosistemas se recuperaban con dificultades de la niebla volcánica, las temperaturas eran insoportablemente altas y abundaban los nichos vacíos,[1] a la espera de que los ocupara algún contestatario que desarrollase una manera de resistir a aquel paisaje infernal. Al parecer, andar erguido fue una de las vías por las que los animales se recuperaron (y, de hecho, mejoraron) después de que las erupciones volcánicas conmocionasen al planeta.

Los nuevos arcosaurios de marcha erguida no solo resistieron, sino que además medraron. Desde sus humildes orígenes en el traumático mundo del Triásico temprano, se diversificarían más adelante en una apabullante variedad de especies. Muy pronto se dividieron en dos linajes principales, que pugnarían en una carrera armamentística evolutiva a lo largo de todo el Triásico. Resulta notable que ambos linajes hayan sobrevivido en la actualidad. El primero, el de los pseudosuquios, daría origen más tarde a los cocodrilos. Por lo general se los denomina «arcosaurios de linaje crocodiliano». El segundo, el de los avemetatarsalianos, evolucionó hasta dar lugar a los pterosaurios (los reptiles voladores a los que a menudo se llama «pterodáctilos»), a los dinosaurios y, por extensión, a las aves, las cuales, como veremos, descienden de los segundos. Este grupo es el de los arcosaurios de linaje aviar. Los rastros *Prorotodactylus* de Stryczowice se encuentran entre las primeras señales de los arcosaurios en el registro fósil, trazas de la tataratatarabuela de todo este zoológico.

¿A qué clase de arcosaurio corresponderían exactamente? Algunas peculiaridades de las huellas presentan pistas importantes. Solo los dedos dejan una impresión, no así los huesos metatarsianos que formarían el arco del pie. De dichos dedos, los tres centrales están agrupados muy juntos, mientras que los otros dos se reducen a pequeños muñones. El extremo posterior de la impresión es recto y afilado. Puede parecer que se trata de minucias anatómicas, y en muchos aspectos lo son. Pero de la misma manera que un médico es capaz de diagnosticar una enfermedad a partir de los síntomas, puedo reconocer estos rasgos como sellos distintivos de los dinosaurios y de sus primos más cercanos, pues están vinculados a características únicas del esqueleto del pie de estos animales, como la disposición digitígrada, que supone que solo los dedos hacen contacto con el suelo al andar; un pie muy estrecho en el que metatarsianos y dedos están

arracimados; unos dedos externos atrofiados de manera patética, o la articulación de tipo gozne entre los dedos y el metatarso, reflejada en el tobillo característico de los dinosaurios y las aves, que pueden moverse solo hacia delante y hacia atrás, sin la más mínima posibilidad de girar.

Los rastros *Prorotodactylus* los hizo un arcosaurio del linaje de las aves estrechamente relacionado con los dinosaurios; en la jerga científica, un miembro del grupo de los dinosauromorfos, que incluye a los dinosaurios y al conjunto de sus primos más cercanos, aquellas pocas ramas situadas justo por debajo de la aparición de los dinosaurios en el árbol genealógico de la vida. Después de la evolución de los arcosaurios de marcha erguida a partir de los despatarrados, el origen de los dinosauromorfos fue el siguiente gran acontecimiento evolutivo. No solo se erguían orgullosamente sobre unas patas rectas, sino que, además, los músculos de dichas extremidades estaban muy desarrollados, al tiempo que unos huesos característicos en las caderas las conectaban al tronco, todo lo cual, junto con la larga cola con la que contaban, les permitía moverse incluso más deprisa y de manera más eficiente de lo que lo hacían otros arcosaurios de andadura erguida.

Al ser uno de los primeros dinosauromorfos, *Prorotodactylus* es algo así como una versión dinosauria de Lucy, el famoso fósil africano de un animal muy similar a un humano pero que no es todavía un humano auténtico, un miembro de nuestra especie, *Homo sapiens*. De la misma manera que Lucy se parece a nosotros, *Prorotodactylus* habría tenido el aspecto y se habría comportado de manera muy parecida a un dinosaurio, pero simplemente no se lo considera como tal por convención. Esto se debe a que los científicos decidieron hace mucho tiempo que esta definición quedaba reservada a los miembros del grupo que incluye al herbívoro *Iguanodon* y al carnívoro *Megalosaurus* (dos de los primeros dinosaurios que se encontraron, en la década de 1820), así como a todos los descendientes de su ancestro común.

Debido a que *Prorotodactylus* no evolucionó a partir de este mismo antepasado, sino algo antes que este, no es un verdadero dinosaurio por definición. Pero se trata nada más que de semántica.

En *Prorotodactylus* vemos trazas que dejó el tipo de animal que por evolución dio lugar a los dinosaurios. Tenía el tamaño aproximado de un gato doméstico y habría tenido suerte si hubiera pesado cuatro kilogramos y medio. Andaba a cuatro patas, por lo que dejaba impresas manos y pies. Sus patas tenían que ser muy largas, a juzgar por el gran espacio que hay entre las huellas sucesivas de una misma mano o de un mismo pie. Las traseras debieron de ser particularmente largas y delgadas, porque sus huellas se sitúan a menudo por delante de las dejadas por las anteriores, señal de que las sobrepasaban. Las manos eran pequeñas y habrían sido adecuadas para agarrar cosas, mientras que los pies largos y comprimidos eran perfectos para correr. El animal que dejó *Prorotodactylus* habría tenido un aspecto desgalichado, con la velocidad de un guepardo, pero con las proporciones desgarbadas de un perezoso, quizá no el tipo de animal del que se esperaría que hubiesen evolucionado los enormes *Tyrannosaurus* y *Brontosaurus*. Y tampoco era muy común; menos del 5 por ciento del total de los rastros encontrados en Stryczowice son del *Prorotodactylus*, una indicación de que los protodinosaurios a los que corresponderían no eran, en un principio, especialmente abundantes o exitosos. Por el contrario, los pequeños reptiles, anfibios e incluso otros tipos de arcosaurios primitivos los superaban en número de largo.

Estos dinosauromorfos raros, extraños y no verdaderamente dinosaurios, continuaron evolucionando mientras el mundo sanaba en el Triásico temprano y medio. Los sitios polacos de rastros, ordenados en secuencias temporales como las páginas de una novela, lo documentan todo. Localidades como Wiory, Pałęgi o Baranow proporcionan una serie igualmente extraña de

rastros de dinosauromorfos, como *Rotodactylus*, *Sphingopus*, *Parachirotherium* o *Atreipus*, los cuales se diversifican a lo largo del tiempo. Aparecen cada vez más tipos, se incrementa el tamaño, se desarrolla una gran diversidad de formas y en algunos casos incluso se pierden totalmente los dedos externos, de manera que solo quedan los centrales. En ciertos rastros, desaparecen las impresiones de la mano, por lo que se trataría de dinosauromorfos que andaban solo sobre las patas posteriores. Hace unos 246 millones de años, unos dinosauromorfos del tamaño de lobos corrían de acá para allá sobre dos patas, capturaban presas con sus garras y actuaban prácticamente como una versión diminuta del *Tyrannosaurus rex*. No vivían solo en Polonia; también se han encontrado huellas en Francia y en Alemania, así como en el sudoeste de Estados Unidos, y sus huesos empiezan a aparecer en África Oriental y posteriormente en Argentina y Brasil. La mayoría de ellos eran carnívoros, pero algunos se volvieron herbívoros. Se desplazaban a gran velocidad, crecían deprisa, tenían un metabolismo acelerado y eran dinámicos y activos en comparación con los letárgicos anfibios y reptiles con los que cohabitaban.

En algún momento, uno de estos dinosauromorfos primitivos evolucionó en dinosaurios verdaderos. Fue un cambio radical solo en el nombre. El límite entre dinosaurios y no dinosaurios es confuso, incluso artificial, un subproducto de las convenciones científicas. De la misma manera en que nada cambia realmente al cruzar la frontera entre Illinois e Indiana, no hubo un salto evolutivo profundo cuando uno de estos dinosauromorfos del tamaño de un perro se transformó en otro dinosauromorfo del tamaño de un perro, que se hallaba exactamente al otro lado de esta línea divisoria que denota a los dinosaurios en el árbol genealógico. La transición implicó el desarrollo de tan solo unos pocos rasgos nuevos en el esqueleto, como una larga marca en la zona donde se anclaban los músculos que movían los brazos hacia dentro y

hacia fuera; algunos rebordes en forma de pestaña en las vértebras del cuello, que sostenían la musculatura y los ligamentos más fuertes, y una articulación con la forma de una especie de ventana abierta en la unión del fémur con la pelvis. Fueron cambios menores y, para ser honestos, no sabemos realmente qué los impulsó, pero sabemos que la transición de dinosauromorfo a dinosaurio no fue un salto evolutivo de primer orden. El origen de los propios dinosauromorfos, que eran corredores veloces, de patas fuertes y de crecimiento rápido, fue un acontecimiento evolutivo mucho más importante.

Los primeros dinosaurios propiamente dichos surgieron en algún momento hace entre 240 y 230 millones de años. Esta imprecisión implica dos problemas que continúan causándome dolor de cabeza, aunque la siguiente generación de paleontólogos estará lista para resolverlos. Por un lado, los primeros dinosaurios son tan parecidos a sus primos dinosauromorfos que se hace difícil diferenciar los esqueletos, no digamos ya las huellas. Por ejemplo, el intrigante *Nyasasaurus*, conocido por parte de un brazo y algunas vértebras encontrados en Tanzania, fosilizados en unas rocas de una antigüedad de aproximadamente 240 millones de años, puede ser el dinosaurio más antiguo del mundo. O bien puede ser solo otro dinosauromorfo en el lado equivocado de la división genealógica. Lo mismo puede decirse de algunas de las huellas de Polonia, en particular las que tienen mayor tamaño y fueron dejadas por animales que andaban sobre las patas posteriores. Quizá algunas son de auténticos dinosaurios, verdaderos, palabra de honor. Ocurre que no tenemos una buena manera de diferenciar los rastros de los primeros dinosaurios de los de sus parientes próximos no dinosaurios, porque el esqueleto de los pies es muy similar. Pero quizá no importe demasiado, ya que, como hemos dicho, la aparición de los dinosaurios verdaderos fue mucho menos trascendental que la de los dinosauromorfos.

La segunda cuestión, mucho más flagrante, es que muchas de las rocas portadoras de fósiles del Triásico están mal datadas, en particular las de inicios y mediados del periodo. La mejor manera de conocer la edad de las rocas es mediante un proceso denominado «datación radiométrica», con el que se comparan los porcentajes de dos de los diferentes elementos que conforman la roca, pongamos, por ejemplo, potasio y argón. El fundamento es que, cuando una roca se enfría y pasa de líquida a sólida, se forman minerales. Dichos minerales están constituidos por determinados elementos, incluido el potasio en nuestro caso. Un isótopo (forma atómica) del potasio (potasio-40) no es estable, sino que experimenta un lento proceso denominado «desintegración radiactiva», en el que cambia a argón-40 y emite una pequeña cantidad de radiación, la cual causa los bips que emite un contador Geiger. Desde el momento en el que una roca se solidifica, el potasio inestable empieza a cambiar a argón. A lo largo del proceso, el gas argón que se acumula queda atrapado dentro de la roca, donde se puede medir. Sabemos, a partir de experimentos de laboratorio, la tasa a la que el potasio-40 pasa a argón-40. Conociendo dicha tasa, podemos medir los porcentajes de los dos isótopos y calcular lo antigua que es la roca que los contiene.

La datación radiométrica revolucionó el campo de la geología a mediados del siglo XX; la lideró Arthur Holmes, un británico que una vez ocupó un despacho a pocas puertas del mío en la Universidad de Edimburgo. Los laboratorios actuales, como los que dirigen mis colegas en el Instituto Tecnológico de Nuevo México o en el Centro de Investigaciones Ambientales de las Universidades Escocesas, cerca de Glasgow, son instalaciones ultramodernas, de alta tecnología, en las que los científicos, enfundados en sus batas blancas de laboratorio, emplean máquinas que valen muchos millones de dólares, y que ocupan más espacio que mi antiguo

apartamento de Manhattan, para datar los cristales microscópicos de las rocas. Las técnicas son tan refinadas que es posible datar con precisión una roca de cientos de millones de años de antigüedad a una pequeña ventana temporal, del orden de solo decenas o centenares de miles de años. Estos métodos son tan afinados que es muy común que dos o más laboratorios independientes obtengan la misma fecha para muestras de una misma roca en un análisis ciego. Los buenos científicos someten su trabajo a esta comprobación para asegurar que siguen una metodología sólida. Prueba tras prueba, la datación radiométrica se ha mostrado precisa.

Pero hay una pega importante: la datación radiométrica funciona solo en rocas que se enfrían a partir de un material fundido, como basaltos o granitos, que solidifican a partir de la lava. Las rocas que contienen fósiles de dinosaurios, como la pizarra o la arenisca, no se formaron de esta manera, sino a partir de los sedimentos depositados por las corrientes de viento y de agua. Datarlas es mucho más difícil. A veces, los paleontólogos tienen suerte y encuentran un hueso de dinosaurio atrapado entre dos capas de rocas volcánicas, las cuales, al ser fechables, proporcionan una franja temporal de cuándo debió de vivir aquel ejemplar. Existen otros métodos con los que se pueden datar de forma individual los cristales que hay en areniscas y pizarras, pero son caros y requieren mucho tiempo. Así que a menudo resulta difícil datar los restos de los dinosaurios con exactitud. Parte del registro fósil se ha datado apropiadamente (cuando existen suficientes rocas volcánicas intercaladas para proporcionar una cronología, o bien la técnica del cristal individual ha tenido éxito), pero no el Triásico, para el que solo hay un puñado de fósiles bien fechados; de modo que no hay total seguridad sobre en qué orden aparecieron determinados dinosauromorfos (especialmente cuando se trata de comparar la edad de especies encontradas en partes distantes del mundo) o sobre cuándo aparecieron los dinosaurios a partir de la estirpe de

los dinosauromorfos.

Dejando de lado todas las incertidumbres, lo que sabemos es que hace 230 millones de años hicieron su aparición los verdaderos dinosaurios. Los fósiles de varias especies con incuestionables características distintivas del grupo se encuentran en rocas bien datadas de dicha edad, las cuales, a su vez, se hallan lejos de donde los primeros dinosauromorfos retozaban en Polonia, a saber, en los cañones montañosos de Argentina.

El Parque Provincial de Ischigualasto, en la parte nororiental de la provincia de San Juan, en Argentina, es el tipo de lugar que uno se imagina rebosante de dinosaurios. También se le llama valle de la Luna, y es fácil imaginar que se encuentra en algún otro planeta, lleno de columnas pétreas esculpidas por el viento, barrancos angostos, riscos cubiertos de orín y tierras yermas y polvorientas. Hacia el noroeste se elevan los picos imponentes de los Andes y, a lo lejos, hacia el sur, se hallan las llanuras secas que cubren la mayor parte del territorio, donde las vacas pastan la hierba que hace que la carne de res argentina sea tan deliciosa. Durante siglos, Ischigualasto ha sido un paso importante para el ganado que se abre camino desde Chile a Argentina, y hoy en día muchas de las pocas personas que viven en la zona son ganaderas.

Este paisaje impresionante resulta ser también el mejor lugar del mundo para encontrar los dinosaurios más antiguos. Ello se debe a que las rocas rojas, pardas y verdes que fueron esculpidas y erosionadas hasta convertirse en estas estructuras mágicas se formaron en el Triásico, en un ambiente que estaba lleno de vida y que además era perfecto para conservar fósiles. En muchos aspectos, este paisaje era similar al de las tierras lacustres polacas en las que se han conservado rastros de dinosauromorfos como *Prorotodactylus*

y otros. El clima era cálido y húmedo, aunque quizá un poco más árido, y no lo golpeaban unos monzones estacionales tan fuertes. Los ríos serpenteaban hasta una cuenca profunda, y las orillas a veces reventaban durante las raras tormentas. A lo largo de un periodo de seis millones de años, los ríos construyeron secuencias repetidas de arenisca, constituida en los canales fluviales, y pizarra, formada a partir de las partículas más finas que se salían y se instalaban en las llanuras de inundación circundantes. Muchos dinosaurios retozaban en estos terrenos, así como una gran cantidad de otros animales: grandes anfibios; animales parecidos a cerdos como los dicinodontes, cuyos antepasados habían conseguido superar la extinción del final del Pérmico; unos reptiles herbívoros con pico llamados rincosaurios, primos primitivos de los arcosaurios; o los pequeños y peludos cinodontes, que parecían un cruzamiento entre una rata y una iguana. En ocasiones, las inundaciones irrumpían en este paraíso, llevándose por delante a los dinosaurios y a sus amigos, y enterrando sus huesos.

La región está en la actualidad tan profundamente erosionada y tan poco alterada por edificios y carreteras u otras molestias humanas que oculten los fósiles que los dinosaurios se encuentran con relativa facilidad, al menos en comparación con tantas otras partes del mundo, donde uno puede pasarse días deambulando y rezando para encontrar algo, aunque solo sea un diente. Los primeros descubrimientos de la zona los hicieron vaqueros u otros lugareños, y no fue hasta la década de 1940 que los científicos empezaron a recoger, estudiar y describir los fósiles provenientes de Ischigualasto, y aún pasaron algunas décadas hasta que se pusieron en marcha expediciones intensivas.

Las primeras campañas de recogida de muestras importantes las dirigió uno de los gigantes de la paleontología del siglo XX, el profesor de Harvard Alfred Sherwood Romer, el hombre que escribió el manual que todavía uso para enseñar a los estudiantes de posgrado en Edimburgo. Cuando realizó el

primer viaje, en 1958, Romer tenía ya sesenta y cuatro años de edad y se le consideraba una leyenda viva, pero ahí estaba él, conduciendo un automóvil desvencijado por aquellas tierras yermas porque tenía el presentimiento de que Ischigualasto sería la próxima gran frontera. En aquella expedición, encontró parte del cráneo y el esqueleto de un animal «moderadamente grande», tal como escribió con modestia en el cuaderno de campo. Quitó tanta roca como pudo, cubrió los huesos con papel de periódico, aplicó una capa de yeso para endurecer y proteger los huesos y los extrajo del suelo. Los envió a Buenos Aires, desde donde se transportarían en un buque hasta Estados Unidos, para poder limpiarlos con más cuidado y estudiarlos en el laboratorio. Pero los fósiles se entretuvieron un poco. Durante dos años los retuvieron en el puerto de Buenos Aires, antes de que los funcionarios de aduanas dieran por fin el visto bueno. Para cuando llegaron a Harvard, Romer había encontrado otras ocupaciones, y no fue hasta años más tarde cuando otros paleontólogos advirtieron que el maestro había encontrado el primer dinosaurio en condiciones de Ischigualasto.

A algunos argentinos no les gustó nada que un *norteamericano*[2] hubiera aparecido en su vecindario para recolectar fósiles, sacarlos de Argentina y estudiarlos en Estados Unidos. Esto animó a una pareja de prometedores científicos del país, Osvaldo Reig y José Bonaparte, a organizar sus propias expediciones. Reunieron un equipo y partieron para Ischigualasto en 1959, y después otras tres veces durante los primeros años de la década de 1960. Durante la campaña de campo de 1961, el equipo de Reig y Bonaparte se encontró con un ranchero y artista local llamado Victorino Herrera, que conocía los riscos y fisuras de Ischigualasto tan bien como un inuit conoce la nieve. Recordaba haber visto algunos huesos desmoronarse desde la arenisca, y condujo a los jóvenes científicos a la localización.

Herrera realmente había descubierto huesos, muchos, y era evidente que

formaban parte del extremo posterior del esqueleto de un dinosaurio. Tras unos años de estudio, Reig describió los fósiles como una nueva especie de dinosaurio a la que denominó, en honor del ranchero, *Herrerasaurus*, una criatura del tamaño de una mula que podía correr sobre las patas traseras. Después de un trabajo detectivesco, se demostró que los fósiles retenidos de Romer pertenecían al mismo animal, y futuros descubrimientos revelarían que *Herrerasaurus* era un depredador feroz, con un arsenal de aguzados dientes y garras, como una versión primitiva de *T. rex* o *Velociraptor*. *Herrerasaurus* fue uno de los primerísimos dinosaurios terópodos, un miembro fundador de aquella dinastía de depredadores inteligentes y ágiles que posteriormente ascendería hasta la cima de la cadena alimentaria y que, en último término, evolucionaría hasta dar lugar a las aves.

Se podría pensar que este descubrimiento habría animado a paleontólogos de toda Argentina a acudir en masa a Ischigualasto. Pero no fue así. Una vez que terminaron las expediciones de Reig y Bonaparte, las cosas se calmaron. Los años finales de la década de 1960, junto con la década de 1970, no fueron una época importante para la investigación de dinosaurios. Había poca financiación y, se crea o no, poco interés público. Todo volvió a mejorar a finales de la década de 1980, cuando un paleontólogo de treinta y pocos años de edad, de nombre Paul Sereno, organizó un equipo argentino-estadounidense, conformado por otros jóvenes enérgicos y ambiciosos, en su mayoría estudiantes de posgrado y profesores novicios. Siguieron los pasos de Romer, Reig y Bonaparte; este último se reunió con el grupo durante algunos días para guiarlos hasta algunas de sus localidades favoritas. El viaje fue un éxito impactante; se encontró otro esqueleto de *Herrerasaurus* y otros muchos dinosaurios, lo que demostraba que Ischigualasto tenía todavía muchos fósiles que ofrecer.

Tres años después, Sereno volvió a las andadas, regresó con buena parte

del mismo equipo a Ischigualasto y se dedicó a explorar nuevos territorios. Uno de sus ayudantes era un estudiante ocurrente llamado Ricardo Martínez. Un día, mientras prospectaba, Martínez recogió una roca del tamaño de un puño, recubierta por un baño nudoso de minerales de hierro. «No es más que un pedazo de basura», pensó. Pero cuando estaba a punto de tirarla, advirtió que algo puntiagudo y brillante salía del canto. Eran dientes. Al volver a mirar el suelo, atónito, se dio cuenta de que había arrancado la cabeza del esqueleto casi completo de un dinosaurio, un demonio raudo y ligero de patas alargadas y del tamaño aproximado de un golden retriever. Lo bautizaron *Eoraptor*. Esos dientes que sobresalían del cráneo resultaron ser más que insólitos; los de la parte posterior de la mandíbula eran agudos y serrados como un cuchillo carnicero, seguramente para cortar la carne, pero los de la punta del hocico eran foliformes, con unas protuberancias bastas denominadas dentículos, el mismo tipo de dientes del que ciertos dinosaurios saurópodos de cuello largo y barrigudos se valdrían más adelante para triturar plantas. Esto daba a entender que *Eoraptor* era un omnívoro y posiblemente un miembro muy temprano del linaje saurópodo, un primo primitivo de *Brontosaurus* y *Diplodocus*.

Muchos años después de aquello, conocí a Ricardo Martínez, por la época en que puse la vista por primera vez en el espléndido esqueleto de *Eoraptor*. Yo era estudiante de grado en la Universidad de Chicago y me formaba en el laboratorio de Paul Sereno, cuando Ricardo vino para trabajar en un proyecto secreto que con posterioridad se materializaría en el anuncio de un nuevo dinosaurio de Ischigualasto, el terópodo primitivo *Eodromaeus*, del tamaño de un terrier. Ricardo me gustó de inmediato. Paul llegaba con un retraso de una hora, por un atasco en Lake Shore Drive, y Ricardo estaba literalmente cruzado de brazos, encorvado en un rincón del despacho del laboratorio. La indiferencia que denotaba aquella postura era incongruente con un hombre

que muy pronto se revelaría como la especie de huracán impetuoso, de habla rápida y amante de los fósiles que yo anhelaba ser. Se parecía al Nota de *El gran Lebowski*, con su cabello enmarañado, su barba espesa alrededor de la boca y un interesante sentido de la moda. Me tuvo entretenido con relatos sobre el trabajo en las tierras salvajes de Argentina, teatralizando con gestos de las manos el modo en que su equipo, cuando estaba muerto de hambre, capturaba desde sus vehículos todoterreno al ganado extraviado mediante golpes mortales del extremo funcional de sus martillos geológicos. Pudo notar mi atracción romántica hacia Argentina y me dijo que fuese a verlo si alguna vez iba allí de visita.

Cinco años después, aproveché el ofrecimiento cuando asistí al congreso científico más duro en el que yo haya tenido el placer de presentar una ponencia. Por lo general, los congresos tienen un aire relativamente rancio, se celebran en hoteles de las cadenas Marriott o Hyatt, en ciudades como Dallas o Raleigh, y los científicos acuden para darse palique unos a otros en comedores cavernosos, en los que por lo general se celebran bodas, y beber la cerveza a precio de oro del hotel mientras se cuentan sus anécdotas de campo. El congreso que Ricardo y sus colegas acogieron en la ciudad de San Juan no tenía nada que ver con eso. La cena de la última noche fue legendaria, como una de esas fiestas caseras rebosantes de hedonismo que salen en los vídeos de rap. Un político local ataviado con una faja abrió el acto, y consiguió hacer un chiste indignante acerca de las cualidades físicas de las mujeres extranjeras que se encontraban entre los asistentes. El plato principal de la cena era una tajada de res alimentada en el campo, del tamaño de un listín telefónico, regada con copiosas cantidades de vino tinto. Después hubo un baile que duró horas, animado por un bar abierto con cientos de botellas de vodka, whisky, brandy y un aguardiente local cuyo nombre no puedo recordar. Hacia las tres de la madrugada, hubo una pausa, mientras en el

exterior se montaba un bar para que los asistentes prepararan su propio taco, un cambio delicioso después de la humedad de la sala de baile. Volvimos al hotel tambaleándonos al romper el alba. Ricardo tenía razón. Argentina me iba a encantar.

Antes del desenfreno de aquella noche, yo había dedicado varios días a las colecciones del museo de Ricardo, el Instituto y Museo de Ciencias Naturales, en la bonita ciudad de San Juan. La mayoría de las riquezas de Ischigualasto se conservan allí, *Herrerasaurus*, *Eoraptor* y *Eodromaeus* entre ellas, pero también otros muchos dinosaurios, como *Sanjuansaurus*, un pariente cercano de *Herrerasaurus* que también era un feroz depredador. En otro cajón están *Panphagia*, similar a *Eoraptor* por ser un primo primitivo en miniatura de los últimos saurópodos colosales, y *Chromogisaurus*, un pariente mayor de *Brontosaurus* que alcanzaba un par de metros de longitud, un herbívoro que se hallaba en el medio de la cadena alimentaria. Están también los fósiles incompletos de un dinosaurio llamado *Pisanosaurus*, un animal del tamaño de un perro que comparte algunas características de los dientes y mandíbulas con los ornitisquios, el grupo que posteriormente se diversificaría en una vasta gama de especies herbívoras, desde el cornudo *Triceratops* hasta los hadrosaurios, con un pico como el de los patos. Y todavía se están encontrando nuevos dinosaurios en Ischigualasto, de modo que quién sabe qué nuevos personajes se habrán añadido cuando el lector visite el museo, si tiene esa suerte.

512

El cráneo de *Eoraptor* y la mano de *Herrerasaurus*, dos de los dinosaurios más antiguos.

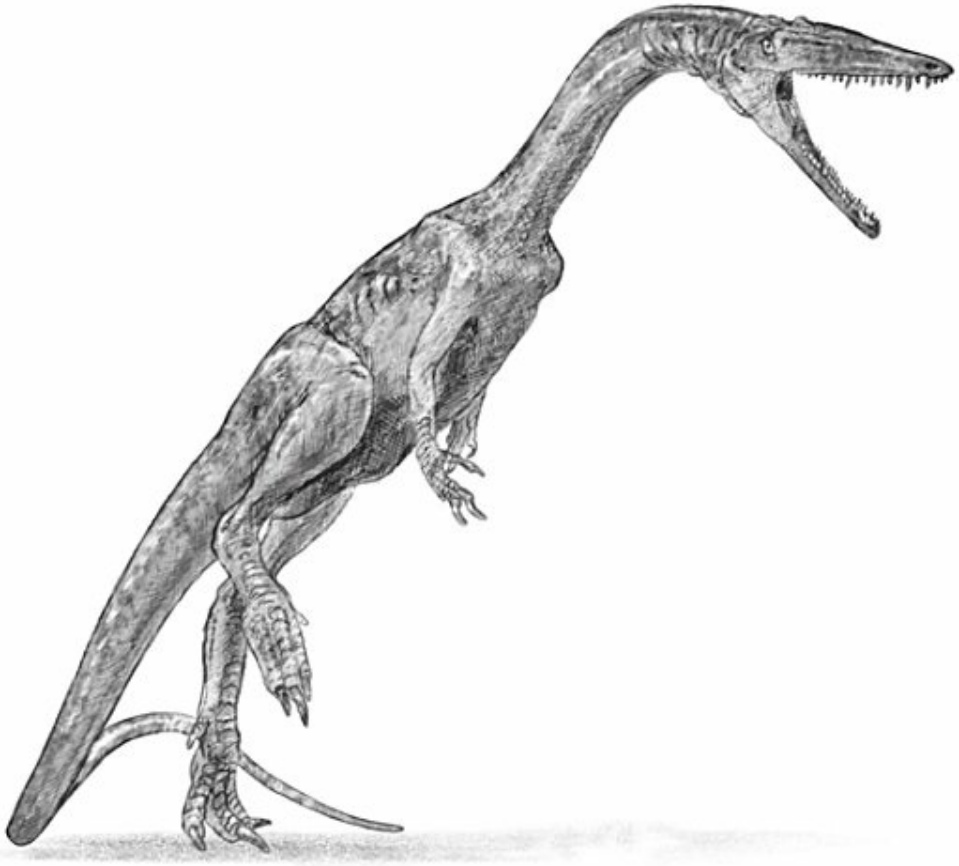
Al abrir las puertas de los armarios con los especímenes y extraer con sumo cuidado los fósiles para medirlos y fotografiarlos, me sentía una especie de historiador, uno de esos eruditos que pasan las horas a oscuras en los archivos, escudriñando viejos manuscritos. La analogía es deliberada, porque los fósiles de Ischigualasto son realmente artefactos históricos, fuentes primarias que nos ayudan a contar la historia de remotos pasados prehistóricos, de millones de años antes de que los monjes empezaran a escribir en pergamino. Los huesos que Romer, Reig y Bonaparte y, después, Paul, Ricardo y sus muchos colegas han extraído del paisaje lunar de Ischigualasto son los primerísimos registros de auténticos dinosaurios, que vivieron, evolucionaron e iniciaron su larga marcha hacia la dominancia.

Pero estos primeros dinosaurios dominaban poco aún, pues quedaban empequeñecidos por los anfibios, por los primos de los mamíferos y por los parientes de cocodrilos, mayores y más diversos, que vivían junto con ellos en aquellas llanuras secas y ocasionalmente inundadas del Triásico. Es probable que ni siquiera *Herrerasaurus* se hallase en la cumbre de la cadena alimentaria, y que cediese este título al arcosaurio asesino *Saurosuchus*, del linaje crocodiliano y de cuatro metros y medio de longitud. Pero, en cualquier caso, los dinosaurios habían hecho su aparición en escena. Los tres grupos principales (los terópodos, carnívoros; los saurópodos, de largo cuello, y los ornitisquios, herbívoros) ya habían divergido en el árbol genealógico, como hermanos que se dispusieran a formar sus propias nidadas.

Los dinosaurios habían iniciado la marcha.

2

Los DINOSAURIOS PROSPERAN



Coelophyis

Imaginemos un mundo sin fronteras. No estoy invocando al espíritu de John Lennon. Lo que quiero decir es que imaginemos una versión de la Tierra en la que toda la superficie continental está unida; sin retazos de unos continentes separados por océanos y mares, sino tan solo una única extensión de terreno emergido, extendido de polo a polo. Con el tiempo suficiente y un buen par de zapatos, el lector podría andar desde el Círculo Polar Ártico al Polo Sur, pasando por el ecuador. Si se aventurara a gran distancia tierra adentro, se encontraría a muchos miles de kilómetros (incluso a decenas de miles) de la playa más cercana. Pero si quisiera nadar, podría zambullirse en el vasto océano que rodearía la gran losa continental que consideraría su hogar y, al menos en teoría, nadar desde una costa hasta la otra costa dando la vuelta al planeta sin tener que secarse.

Puede parecer fantasioso, pero este es el mundo en el que se desarrollaron los dinosaurios.

Cuando los primerísimos dinosaurios, como *Herrerasaurus* y *Eoraptor*, evolucionaron a partir de sus ancestros dinosauromorfos, del tamaño de un gato, hace entre unos 240 y 230 millones de años, no existían continentes diferentes: ni Australia, ni Asia, ni Norteamérica. No había un océano Atlántico que separara las Américas de Europa y África, ningún océano Pacífico en la otra cara del globo. En cambio, había solo una única masa continental, sólida y sin fragmentar, lo que los geólogos califican de supercontinente. Estaba rodeada por un único océano. La clase de geografía habría sido fácil en aquellos días: un supercontinente, al que llamamos Pangea, y un océano, al que llamamos Pantalasa.

Los dinosaurios nacieron en un mundo que nos resultaría completamente ajeno. ¿Cómo era vivir en un lugar como ese?

Primero, pensemos en la geografía física. El supercontinente se extendía por todo un hemisferio de la Tierra en el Triásico, desde el Polo Norte al Sur. Se parecía un poco a una gigantesca letra C, con una gran hendidura en el centro, por la que un brazo de Pantalasa se introducía en el continente. Encumbradas cordilleras serpenteaban a través del paisaje en ángulos extraños, señalando las suturas en las que unos bloques más pequeños de corteza habían colisionado antaño para constituir el continente gigante, como piezas de un rompecabezas. Dicho rompecabezas no se ensambló muy fácilmente ni con rapidez. Durante cientos de millones de años, las altas temperaturas del interior del planeta empujaron y arrastraron aquella diversidad de continentes más pequeños que habían sido el hogar de generaciones de animales mucho antes de la aparición de los dinosaurios, hasta que todos los continentes quedaron aglutinados en un solo y extenso reino.

¿Y qué hay del clima? No hay mejor manera de decirlo: los primeros dinosaurios vivían en una sauna. La Tierra era muchísimo más cálida en el periodo Triásico que en la actualidad. En parte, ello se debe a que en la atmósfera había más dióxido de carbono y, por lo tanto, el efecto invernadero era mayor, así como el calor que radiaba en tierra y mar. Pero la geografía de Pangea exacerbó las cosas. En un lado del globo, la tierra emergida se extendía de polo a polo, pero en el otro lado solo había océano abierto. Esto significaba que las corrientes podían recorrer sin trabas desde el ecuador hasta ambos polos, de manera que existía una ruta directa para que el agua cocida al sol en las latitudes más bajas caldeara las regiones de las latitudes más altas. Esto evitó que se formaran casquetes de hielo. En comparación con la actualidad, el Ártico y el Antártico eran templados, con unas temperaturas

estivales similares a las de Londres o San Francisco y unas temperaturas invernales que apenas bajaban del punto de congelación. Eran lugares en los que los dinosaurios primitivos y los demás animales con los que compartían el territorio podían vivir con facilidad.

Si los polos eran tan cálidos, entonces el resto del mundo debió de ser un invernáculo. Pero no es que todo el planeta fuera un desierto. También en esto la geografía de Pangea hizo las cosas mucho más complejas. Puesto que el supercontinente se hallaba centrado básicamente en el ecuador, la mitad de la tierra estaba constantemente abrasada en verano, mientras que la otra mitad se enfriaba en invierno. Las notables diferencias de temperatura entre el norte y el sur causaban que unas violentas corrientes de aire cruzaran regularmente el ecuador. Cuando cambiaban las estaciones, se alteraba la dirección de estas corrientes. Es algo que ocurre en la actualidad en algunas partes del mundo, en particular en India y en el Sudeste asiático. Es lo que da origen a los monzones, en los que se pasa de una estación seca a un auténtico diluvio y fuertes tormentas que se prolongan en el tiempo. Seguro que el lector ha visto, en los periódicos o en las noticias de la noche, imágenes de casas anegadas por las inundaciones, personas que huyen de torrentes embravecidos y aludes de barro que entierran aldeas enteras. Los monzones modernos se circunscriben a un área concreta, pero los del Triásico ocurrían en todo el mundo. Eran tan graves que los geólogos han inventado para describirlos el término hiperbólico de «megamonzones».

Es probable que más de un dinosaurio fuese barrido por las crecidas o enterrado por una avalancha de fango. Pero los megamonzones tuvieron también otro efecto. Contribuyeron a la división de Pangea en provincias ambientales, caracterizadas por los distintos volúmenes de precipitación, la severidad variable de los vientos monzónicos y la diferencia de temperaturas. La región ecuatorial era extremadamente cálida y húmeda, un infierno

tropical que, en comparación, haría que el verano en la Amazonia actual pareciera una excursión al taller de Santa Claus. Después había una gran extensión de desierto, que se prolongaban unos 30 grados de latitud arriba y abajo del ecuador (como el Sáhara, pero en una franja mucho mayor del planeta). Allí las temperaturas superaban con creces los 35 grados, probablemente durante todo el año, y las lluvias monzónicas que caían sobre otras partes de Pangea se hallaban ausentes, reducidas a apenas un goteo. Pero los monzones ejercían un gran impacto en las latitudes medias. Estas áreas eran algo más frescas, más lluviosas y húmedas que los desiertos, y en general más acogedoras para la vida. *Herrerasaurus*, *Eoraptor* y los demás dinosaurios de Ischigualasto vivieron en este entorno, en pleno cinturón húmedo de las latitudes medias del Pangea meridional.

Pangea puede haber sido una masa continental unida, pero la meteorología traicionera y los climas extremos le conferían una imprevisibilidad peligrosa. No habría sido un hogar particularmente seguro o agradable. Pero los primerísimos dinosaurios no tuvieron elección. Entraron en un mundo que todavía se recuperaba de la terrible extinción en masa del final del Pérmico, una tierra sometida a los violentos caprichos de las tormentas y al azote de unas temperaturas abrasadoras. Así lo hicieron también otros muchos tipos nuevos de animales y plantas, que emergieron después de que la extinción en masa limpiara el planeta. Todos estos recién llegados se lanzaban a un campo de batalla evolutivo. No era ni mucho menos seguro que los dinosaurios surgieran triunfantes en la carrera. Después de todo, eran animales pequeños y modestos, que durante sus primeros años no se hallaban en absoluto cerca de la cumbre de la cadena alimentaria. Deambulaban con muchísimas otras especies de vertebrados entre pequeños y medianos, como reptiles, primeros mamíferos y anfibios, en los escalones intermedios de la pirámide alimentaria, temerosos de los arcosaurios del linaje crocodiliano, que

ostentaban el trono. Nadie les había regalado nada a los dinosaurios. Iban a tener que ganárselo.

He viajado durante muchos veranos al interior del árido cinturón subtropical del norte de Pangea, a la caza de fósiles. Desde luego, hace ya mucho tiempo que el supercontinente desapareció, al haberse fracturado gradualmente en nuestros continentes modernos en los más de 230 millones de años transcurridos desde que los dinosaurios primigenios iniciaron su marcha evolutiva. Lo que yo he estado explorando es un resto del antiguo Pangea que puede hallarse en la soleada región del Algarve, en Portugal, en la esquina más sudoccidental de Europa. Durante aquellos años formativos en los que los dinosaurios soportaban los megamonzones y las sofocantes olas de calor del Triásico, esta parte de Portugal se hallaba solo a 15 o 20 grados al norte del ecuador, aproximadamente a la misma latitud que se encuentra América Central hoy en día.

Como ha ocurrido con tantas aventuras de la paleontología, fue una pista al azar lo que me hizo poner Portugal en mi radar. Tras las primeras salidas en Polonia junto a Grzegorz y el estudio de los fósiles de algunos de los ancestros dinosauromorfos de los dinosaurios, mi colega inglés Richard Butler y yo desarrollamos algo parecido a una adicción. Nos obsesionamos con el periodo Triásico. Queríamos comprender cómo era el mundo cuando los dinosaurios eran todavía jóvenes y vulnerables. De modo que exploramos el mapa de Europa en busca de otros lugares en los que hubiera rocas accesibles de edad triásica, el tipo de formaciones sedimentarias que era concebible que contuvieran fósiles de dinosaurios y de otros animales de su mismo hábitat. Richard dio con un breve artículo en una revista científica poco conocida, en el que se describían algunos fragmentos de hueso

procedentes del sur de Portugal, recogidos por un estudiante de geología alemán en la década de 1970, que había estado en Portugal para levantar un mapa de las formaciones rocosas, el rito de paso de todos los geólogos. Tenía poco interés en los fósiles, de modo que metió los especímenes en su mochila y los llevó de vuelta a Berlín, donde languidecieron en un museo durante casi tres décadas, hasta que unos paleontólogos los reconocieron como fragmentos craneales de anfibios antiguos, en concreto del Triásico. No hizo falta más para entusiasmarnos. Había fósiles del Triásico en una bonita parte de Europa y nadie los había buscado durante décadas. Debíamos ir allí.

Hicimos el viaje a finales del verano de 2009, durante la época más calurosa del año. Constituimos un equipo con otro amigo, Octávio Mateus, que en aquella época no tenía ni treinta y cinco años, pero a quien ya se consideraba el principal buscador de dinosaurios de Portugal. Octávio creció en una pequeña ciudad llamada Lourinhã, en la ventosa costa atlántica al norte de Lisboa. Sus padres eran arqueólogos e historiadores aficionados; pasaban los fines de semana explorando el territorio, que resultó estar sembrado de fósiles de dinosaurios del Jurásico. La familia Mateus y su variopinto grupo de aficionados locales recogieron tantos huesos, dientes y huevos de dinosaurios que comenzó a hacer falta un lugar donde guardarlos, de modo que, cuando Octávio tenía nueve años de edad, sus padres dieron vida a su propio museo. En la actualidad, el Museu da Lourinhã alberga una de las colecciones de dinosaurios más importantes del mundo, muchos encontrados por Octávio (que estudió paleontología y se convirtió en profesor en Lisboa) y su ejército cada vez mayor de estudiantes, voluntarios y colaboradores locales.

Era apropiado que Octávio, Richard y yo nos pusiéramos en marcha con el calor de agosto, ya que buscábamos los fósiles de unos animales que habían vivido en la zona más cálida y seca de Pangea. Pero no fue una estrategia

muy buena por nuestra parte. Durante varios días anduvimos por unas colinas atacadas por el sol del Algarve, mientras empapábamos de sudor los mapas geológicos con los que esperábamos llegar al tesoro. Nos fijamos en casi cada mota de roca de edad triásica que aparecía en ellos y localizamos el lugar en el que aquel estudiante de geología había encontrado los huesos de anfibios, pero todo lo que vimos fueron migajas fósiles. A medida que nuestra semana de trabajo de campo llegaba a su fin, el calor y el cansancio nos dominaban, y cada vez estábamos más convencidos de que habíamos fracasado. Cuando ya estábamos al borde de la derrota, se nos ocurrió que debíamos efectuar otro recorrido por el área en la que el estudiante de geología había hecho su descubrimiento. Era un día sofocante, el termómetro de los GPS de mano alcanzaba los 50 grados.

Después de aproximadamente una hora de prospectar juntos, decidimos separarnos. Me mantuve cerca de la base de las colinas, escudriñando los fragmentos de hueso que había dispersos por el suelo en un intento desesperado de encontrar su fuente. No tuve suerte. Pero entonces oí una voz excitada que gritaba desde algún lugar de la parte superior de la cresta. Detecté un matiz de acento lírico portugués, de modo que tenía que ser Octávio. Me apresuré hacia el lugar de donde creía que procedía aquella voz, pero ya no había allí más que silencio. Quizá imaginaba cosas, por el efecto de las malas pasadas del calor en el cerebro. Pero al final, vi a Octávio en la distancia, restregándose los ojos como alguien que se hubiera despertado en plena noche por una llamada telefónica. Tropezaba y daba un poco la sensación de ser un zombi. Se trataba de una estampa bastante extraña.

Excavando el yacimiento de huesos de *Metoposaurus* en el Algarve, Portugal, con Octávio Mateus, Richard Butler y nuestro equipo.

Cuando Octávio me vio, recuperó la compostura y se puso a cantar. «Lo encontré, lo encontré, lo encontré», repetía una y otra vez. Sostenía un hueso. Lo que no tenía era una botella de agua. Y de pronto todo tuvo sentido. Había olvidado el agua en el coche, mala cosa para un día tan caluroso, pero había encontrado el estrato en el que afloraban los huesos de anfibio. La combinación de júbilo y deshidratación había hecho que se desmayara por un momento. Pero ahora estaba de nuevo consciente, y solo unos momentos después Richard se había abierto paso a través de los matorrales para unirse a nosotros. Tras intercambiar abrazos emocionados y chocar nuestras manos,

seguimos la celebración rehidratándonos con cervezas en un pequeño café de la carretera.

Lo que Octávio había encontrado era una capa de pizarra de medio metro de espesor llena de huesos fósiles. Volvimos a la localidad varias veces a lo largo de los años siguientes, para excavar meticulosamente el lugar, lo que resultó ser una lata, ya que el estrato de los huesos parecía extenderse de forma infinita hacia el interior de la ladera de la colina. Yo nunca había visto tantísimos fósiles concentrados en una misma área. Parecía una fosa común. Un número incontable de esqueletos de los anfibios conocidos como *Metoposaurus* (parecidos a las salamandras actuales, pero en versión supergrande, con el tamaño de un coche pequeño) se hallaban mezclados en un desorden caótico. Debía de haber cientos de ellos. Hace unos 230 millones de años, una manada de estos animales viscosos y feos murió de golpe, cuando el lago en el que vivían se desecó; un daño colateral del caprichoso clima de Pangea.

Los anfibios gigantes como *Metoposaurus* fueron actores principales en el relato del Pangea del Triásico. Merodeaban por las riberas de los ríos y lagos en gran parte del supercontinente, en particular en las regiones subtropicales áridas y en los cinturones húmedos de las latitudes medias. Si hubiéramos sido un pequeño y delicado dinosaurio primitivo como *Eoraptor*, habríamos querido evitar esas riberas a toda costa. Eran territorio enemigo. Allí estaba *Metoposaurus* a la espera, acechando en los bajíos, listo para tender una emboscada a cualquier cosa que se acercara demasiado al agua. Tenía la cabeza del tamaño de una mesa de centro y las mandíbulas tachonadas con cientos de dientes lacerantes. Las mandíbulas superior e inferior, grandes, anchas, casi planas, se articulaban en la parte posterior y podían cerrarse de golpe, como el asiento de un inodoro para engullir lo que quisiera. Solo hacían falta unos pocos mordiscos para despachar una deliciosa cena a base

de dinosaurio.

Unas salamandras más grandes que humanos pueden parecer la alucinación de un loco. Pero, por extraños que fueran, *Metoposaurus* y sus afines no eran extraterrestres. Estos terroríficos depredadores fueron los ancestros de los sapos, los tritones y las salamandras actuales. Su ADN fluye por las venas de las ranas que saltan en nuestro jardín o por las de las que disecábamos en el instituto en clase de biología. De hecho, muchos de los animales actuales más reconocibles pueden remontarse al Triásico. Las primeras tortugas, lagartos, cocodrilos e incluso mamíferos vinieron al mundo en esa época. Todos estos animales, que constituyen en gran medida el tejido del planeta al que llamamos nuestro hogar en la actualidad, surgieron junto a los dinosaurios en el riguroso entorno del Pangea prehistórico. El apocalipsis de la extinción de finales del Pérmico dejó un campo de juego tan vacío que hubo espacio para que evolucionara toda suerte de animales, algo que ocurrió sin cesar durante los cincuenta millones de años del Triásico. Fue una época de una gran agitación biológica, que cambió el planeta para siempre y que todavía resuena en la actualidad. No es extraño que muchos paleontólogos se refieran al Triásico como el «alba del mundo moderno».

Si pudiéramos ponernos en los diminutos pies de los seres peludos y del tamaño de un ratón que eran nuestros antepasados mamíferos del Triásico, contemplaríamos desde abajo un mundo que contenía los murmullos del momento actual. Sí, el planeta físico era completamente diferente, un supercontinente marcado por un calor intenso y por una meteorología violenta. No obstante, las partes de tierra no sepultadas por el desierto estaban cubiertas de helechos y pinos. Había lagartos que recorrían céleres la bóveda arbórea, tortugas que chapoteaban en los ríos, anfibios que corrían desbocados y varios tipos familiares de insectos que zumbaban en derredor. Y también había dinosaurios, meros actores de reparto en esta escena antigua,

pero destinados a hacer cosas más importantes en el futuro.

Después de varios años de excavar la «fosa común» de las supersalamandras en Portugal, hemos recuperado un montón de huesos de *Metoposaurus*, suficientes para llenar el taller del museo de Octávio. Pero también hemos encontrado otros animales que murieron al evaporarse el lago prehistórico. Hemos extraído parte del cráneo de un fitosaurio, un pariente hocicudo de los cocodrilos que cazaba en tierra y agua. Hemos recogido muchos dientes y huesos de varios peces, que probablemente eran la fuente primaria de alimentación de *Metoposaurus*. Otros huesos pequeños parecen ser de un reptil del tamaño de un tejón.

Lo que todavía no hemos encontrado es señal alguna de dinosaurios.

Es extraño. Sabemos que había dinosaurios que vivían al sur del ecuador, en los húmedos valles fluviales de Ischigualasto, en el mismo lapso temporal en que *Metoposaurus* sembraba el terror en los lagos portugueses del Triásico. También sabemos que en Ischigualasto se mezclaban muchos tipos diferentes de dinosaurios, todos aquellos animales que estudié en el museo de Ricardo Martínez en Argentina. Terópodos carnívoros como *Herrerasaurus* y *Eodromaeus*, cuellilargos primitivos, precursores de los saurópodos, como *Panphagia* y *Chromogisaurus*, ornitisquios tempranos (primos de los dinosaurios cornudos y de pico de pato). No, no se situaban en la cumbre de la pirámide alimentaria. Sí, los superaban en número los anfibios de gran tamaño y los parientes de los cocodrilos, pero al menos estaban empezando a dejar su marca.

Así pues, ¿por qué no los vemos en Portugal? Desde luego, puede ser que todavía no los hayamos encontrado. La ausencia de evidencia no siempre es evidencia de ausencia, como todos los buenos paleontólogos han de

recordarse continuamente. La próxima vez que volvamos a las áreas de matorrales y arbustos del Algarve y nos hagamos con otra sección de ese lecho de huesos, quizá encontremos un dinosaurio. Sin embargo, estoy dispuesto a apostar en contra, porque empieza a aparecer un patrón a medida que los paleontólogos van descubriendo cada vez más fósiles del Triásico en todo el mundo. Los dinosaurios parecen estar presentes y empezar a diversificarse lentamente en las zonas templadas y húmedas de Pangea, en particular en el hemisferio austral, durante una porción de tiempo que va aproximadamente de los 230 a los 220 millones de años antes del presente. No solo encontramos sus fósiles en Ischigualasto, sino también en áreas de Brasil y de India que antaño formaron parte de la zona húmeda de Pangea. Mientras tanto, en los cinturones áridos más cercanos al ecuador, los dinosaurios están ausentes o son muy raros. Al igual que en Portugal, hay amplias áreas de fósiles en España, en Marruecos y a lo largo de la costa este de Norteamérica donde se pueden encontrar gran cantidad de anfibios y reptiles, pero ni un dinosaurio. Todos estos lugares se situaban en el sector árido y seco de Pangea durante los diez millones de años en los que los dinosaurios empezaron a florecer en las regiones húmedas más soportables. Parece que estos primeros dinosaurios no eran capaces de soportar el calor del desierto.

Se trata de un hilo argumental inesperado. Los dinosaurios no se expandieron simplemente por Pangea desde el momento en que se originaron, como si fueran un virus infeccioso. Estaban localizados geográficamente, mantenidos en aquellos lugares no por barricadas físicas, sino por un clima que no podían soportar. Durante muchos millones de años, parecían condenados a ser algo así como unos catetos de pueblo, relegados a una zona del sur del supercontinente, incapaces de escapar de allí; algo parecido a un héroe del fútbol americano del instituto, ya entrado en años y cuyos sueños se

han desvanecido, que pudo haber sido algo solo si se hubiese marchado de su diminuta ciudad natal.

Desamparados: así estaban estos primeros dinosaurios amantes de la humedad. No deben de haber conformado un grupo muy impresionante. No solo estaban atrapados por los desiertos, sino que incluso cuando estuvieron en condiciones de salir a ganarse la vida, apenas lo consiguieron, al menos al principio. Es cierto que había varias especies de dinosaurios en Ischigualasto, pero estas constituían solo alrededor del 10 al 20 por ciento del ecosistema total. Los superaban con mucho en número los primeros parientes de los mamíferos, como los dicinodontes, parecidos a cerdos, que comían raíces y hojas, y otros tipos de reptiles, muy especialmente los rincosaurios, que cortaban plantas con sus agudos picos, así como los primos de los cocodrilos, como el impresionante depredador apical *Saurosuchus*. En el mismo momento, pero un poco más hacia el este, en lo que ahora es Brasil, las cosas eran muy parecidas. Había unos pocos tipos de dinosaurios diferentes muy relacionados con las especies de Ischigualasto: el carnívoro *Staurikosaurus* era un primo de *Herrerasaurus* y el pequeño animal de cuello largo *Saturnalia* era muy parecido a *Panphagia*. Pero eran muy escasos, asimismo superados en número por masas de protomamíferos y rincosaurios. Incluso mucho más hacia el este, donde la zona húmeda continuaba en lo que en la actualidad es India, había un puñado de cuellilargos primitivos, parientes de los saurópodos, como *Nambalia* y *Jaklapallisaurus*, pero de nuevo eran actores secundarios en ecosistemas en los que dominaban otras especies.

Entonces, cuando parecía que los dinosaurios nunca iban a escapar de su rutina, ocurrieron dos cosas importantes que les dieron una oportunidad.

Primero, los grandes herbívoros dominantes en el cinturón húmedo, los rincosaurios y los dicinodontes, se hicieron menos comunes. En algunas áreas desaparecieron por completo. No sabemos todavía por qué, pero las

consecuencias fueron inequívocas. La caída de estos herbívoros dio a los primitivos primos herbívoros de los saurópodos, como *Panphagia* y *Saturnalia*, una oportunidad para ocupar un nuevo nicho en algunos ecosistemas. No pasó mucho tiempo hasta que fueron los principales herbívoros de las regiones húmedas de ambos hemisferios, el boreal y el austral. En la formación argentina de Los Colorados, una unidad de roca integrada hace aproximadamente entre 225 y 215 millones de años, justo después de que quedarán depositados los fósiles de los dinosaurios de Ischigualasto, los antecesores de los saurópodos son los vertebrados más comunes. Hay más fósiles de estos tragaplantas (entre ellos *Lessemsaurus*, *Riojasaurus* o *Coloradisaurus*), cuyo tamaño iba desde el de una vaca al de una jirafa, que de cualquier otro tipo de animal. En total, los dinosaurios suponen cerca del 30 por ciento del ecosistema, mientras que los parientes de los mamíferos, antaño dominantes, caen por debajo del 20 por ciento.

Esto no ocurrió únicamente en el Pangea austral. Al otro lado del ecuador, en la Europa primigenia, entonces parte del sector húmedo del hemisferio norte, también medraron otros dinosaurios de cuello largo. Al igual que en Los Colorados, eran los grandes herbívoros más comunes de su hábitat. Una de estas especies, *Plateosaurus*, se ha encontrado en más de cincuenta localidades en Alemania, Suiza y Francia. Existen incluso depósitos con montones de especímenes, como ocurre con el yacimiento de huesos de *Metoposaurus* de Portugal, en los que docenas (o más) de *Plateosaurus* murieron juntos cuando la meteorología se volvió hostil, una indicación de la cantidad de estos dinosaurios que recorrían aquellos paisajes.

El segundo éxito importante, hace unos 215 millones de años, fue que los primeros dinosaurios empezaron a llegar a los ambientes subtropicales áridos del hemisferio norte, que entonces se hallaban a unos 10 grados por encima del ecuador, y que ahora forman parte del Sudoeste americano. No sabemos

exactamente por qué los dinosaurios pasaron a poder migrar fuera de las zonas húmedas en las que estaban seguros y penetrar en los rigurosos desiertos. Probablemente tuvo algo que ver con el cambio climático; las variaciones en los monzones y en la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera hicieron que las diferencias entre regiones húmedas y áridas fueran menos acusadas, de modo que los dinosaurios pudieron desplazarse con más facilidad entre ellas. Fuera cual fuere la razón, finalmente los dinosaurios hicieron su incursión en los trópicos y se expandieron por partes del mundo a las que previamente no habían podido acceder.

Los mejores registros de los dinosaurios que habitaron los desiertos durante el Triásico proceden de áreas que vuelven a ser desiertos en la actualidad. En gran parte del bello paisaje propio de las tarjetas postales del norte de Arizona y de Nuevo México, hay columnas rocosas, tierras yermas y cañones excavados en rocas de ricos tonos de rojo y púrpura. Se trata de las areniscas y pizarras de la formación Chinle, una secuencia de casi un kilómetro de espesor formada a partir de las antiguas dunas arenosas y los oasis del Pangea tropical durante la segunda mitad del Triásico, hace entre 225 y 200 millones de años. El Parque Nacional del Bosque Petrificado, que debería estar en el itinerario de cualquier turista amante de los dinosaurios que visite los estados sudoccidentales, tiene uno de los mejores afloramientos de la formación Chinle, lleno de enormes árboles fosilizados, desarraigados y enterrados en su momento por inundaciones repentinas, más o menos en la época en que los dinosaurios empezaban a instalarse en la zona.

Parte del trabajo de campo paleontológico más excitante de la última década se ha centrado en la formación Chinle. Nuevos descubrimientos han dibujado una imagen nueva y sorprendente del aspecto de los primeros dinosaurios que vivieron en desiertos y de cómo encajaban en unos ecosistemas más amplios. Un notable grupo de jóvenes investigadores, todos

estudiantes de posgrado cuando empezaron a explorar Chinle, encabeza su estudio. El núcleo del grupo es el cuarteto formado por Randy Irmis, Sterling Nesbitt, Nate Smith y Alan Turner. Irmis, que nunca abandona las gafas, es una persona introvertida, pero una bestia como geólogo de campo; Nesbitt es un experto en anatomía de fósiles que siempre lleva gorra de béisbol y dice frases sacadas de las comedias de la tele; Smith es un chicagüense que viste de manera elegante y al que le gusta recurrir a la estadística en el estudio de la evolución de los dinosaurios; y Turner es especialista en la elaboración de árboles genealógicos de grupos extinguidos, además de recibir el apodo afectuoso de Pequeño Jesús debido a sus bucles sueltos, a su poblada barba y a su estatura moderada.

El cuarteto me lleva media generación de ventaja en la carrera profesional. Estaban trabajando en sus tesis doctorales cuando yo empezaba a investigar como universitario. En mis tiempos de joven estudiante, me sentía fascinado por ellos, como si fueran un Rat Packde la paleontología. Iban en cuadrilla a los congresos de investigación, a menudo con otros amigos suyos que trabajaban en la Chinle, como Sarah Werning, una especialista en el crecimiento de los dinosaurios y otros reptiles; Jessica Whiteside, una brillante geóloga dedicada al estudio de las extinciones en masa y de los cambios de los ecosistemas en el pasado remoto; Bill Parker, paleontólogo del Parque Nacional del Bosque Petrificado y experto en algunos de los parientes cercanos de los cocodrilos que vivieron con los primeros dinosaurios; Michelle Stocker, que estudiaba otros protococodrilos (y a quien Sterling Nesbitt convenció más tarde para que se casara con él —proposición que le hizo nada más y nada menos que en una salida de campo—, para así formar un equipo ideal del Triásico diferente). Yo quería parecerme a aquellos científicos jóvenes y célebres, representaban el tipo de investigador en el que quería convertirme.

Durante muchos años, el Rat Pack de Chinle pasó los veranos en el norte de Nuevo México, en las tierras resecas y de colores pastel cercanas a la minúscula aldea de Abiquiú. A mediados del siglo XIX, este puesto remoto fue una parada importante del Viejo Sendero Español, una ruta comercial que conectaba la cercana Santa Fe con Los Ángeles. En la actualidad solo quedan allí unos pocos cientos de personas, lo que hace que la zona parezca un remanso tranquilo en el seno del país más industrializado del mundo. Pero hay personas a las que les gusta este tipo de aislamiento. Una de ellas era Georgia O'Keeffe, la artista modernista estadounidense famosa por sus cuadros de flores, íntimos hasta el punto de la abstracción. A O'Keeffe la atraían también los paisajes abiertos, y la emocionaban la sorprendente belleza y los incomparables matices de la luz natural en el área de Abiquiú. Compró una casa cerca, en los amplios terrenos de un lugar apartado en el desierto llamado Ghost Ranch. Allí podía explorar la naturaleza y experimentar con nuevos estilos de pintura sin que nadie la molestara. Los riscos rojos y los pintorescos cañones de bandas parecidas a caramelos que había en los alrededores del rancho, bañados por los brillantes destellos de la luz solar, son motivos comunes en la obra que produjo allí.

Después de la muerte de O'Keeffe, a mediados de la década de 1980, Ghost Ranch se convirtió en un lugar de peregrinaje para los amantes del arte, que esperaban captar algo de aquella chispa del desierto que tanto había inspirado a la vieja maestra. Pocos de estos viajeros cultivados llegan a saber que Ghost Ranch bulle también con huesos de dinosaurios.

Pero el Rat Pack lo sabía.

Sabían que en 1881 el paleontólogo de Filadelfia Edward Drinker Cope envió a un científico y mercenario llamado David Baldwin al norte de Nuevo México, con la singular misión de encontrar fósiles que poder echarle en cara a su rival de Yale Othniel Charles Marsh. Ambos estaban enzarzados en una

agria contienda que la historia conoce como la guerra de los Huesos (de la que hablaré más adelante), pero en ese momento de su carrera ninguno de ellos tenía especiales ganas de enfrentarse a los elementos o a las guerrillas de los nativos americanos (Gerónimo continuaría efectuando incursiones en Nuevo México y Arizona hasta 1886). En lugar de buscar fósiles por sí mismos, Cope y Marsh se apoyaban en una red de pistoleros a sueldo. Baldwin era el tipo de personaje que solían emplear: un hombre solitario y misterioso que, montado en su mula, se internaba en las tierras yermas durante meses, incluso durante el crudo invierno, y en última instancia salía cargado de huesos de dinosaurios. En realidad, Baldwin había trabajado para los dos paleontólogos en pendencia; en el pasado había sido un confidente leal de Marsh, pero en aquel momento su lealtad era para Cope. Así que este fue el afortunado receptor de la colección de huesos de dinosaurio, huecos y de pequeño tamaño, que Baldwin extrajo en el desierto, cerca de Ghost Ranch. Dichos huesos pertenecían a un tipo totalmente nuevo de dinosaurio primitivo del Triásico, del tamaño de un perro, de peso ligero, buen corredor y de dientes aguzados, al que posteriormente Cope denominaría *Coelophysis*. Al igual que el *Herrerasaurus* argentino, que se encontraría muchas décadas después, se trataba de uno de los miembros más antiguos de la dinastía de los terópodos, que acabaría dando lugar a *Tyrannosaurus rex*, a *Velociraptor* y a las aves.

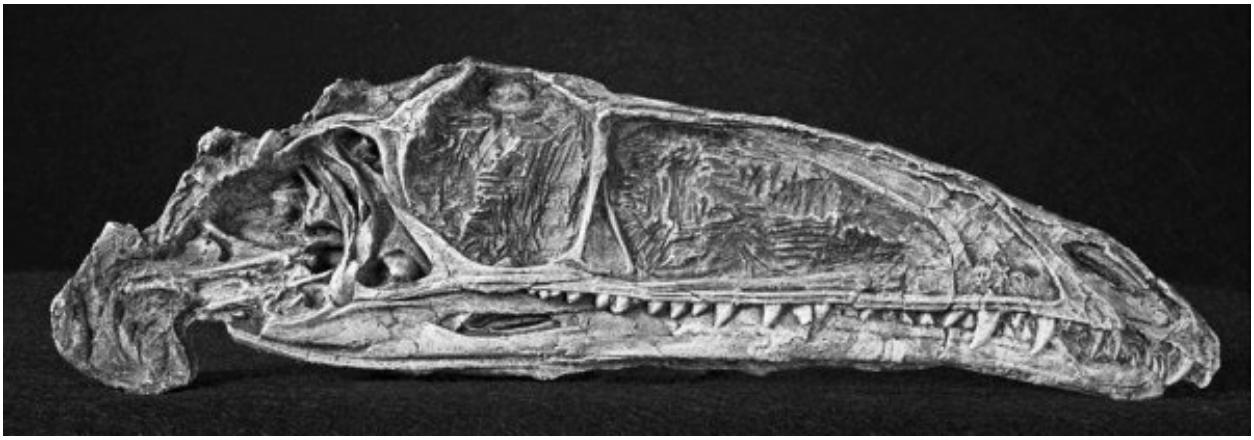
El Rat Pack de Chinle sabía también que, medio siglo después del descubrimiento de Baldwin, otro paleontólogo de la Costa Este, Edwin Colbert, le tomó cariño a la zona de Ghost Ranch. Era un individuo mucho más agradable que Cope o que Marsh. Cuando se dirigió a Ghost Ranch, en 1947, tenía cuarenta y pocos años y ya se había acomodado en uno de los principales empleos del ramo como conservador de paleontología de los vertebrados en el Museo Americano de Historia Natural de la ciudad de

Nueva York. Aquel verano, mientras O'Keeffe pintaba mesetas y esculturas rocosas a pocos kilómetros de distancia, el ayudante de campo de Colbert, George Whitaker, hizo un descubrimiento asombroso. Dio con un cementerio de *Coelophysis*, cientos de esqueletos, toda una manada de depredadores enterrados por una crecida anormal. Imagino que debió de sentir algo parecido a la alegría desenfrenada de cuando encontramos el yacimiento de huesos de *Metoposaurus* en Portugal. De la noche a la mañana, *Coelophysis* se convirtió en el dinosaurio del Triásico por antonomasia, el animal que venía inmediatamente a la mente cuando la gente imaginaba el aspecto que tenían los primerísimos dinosaurios, cómo se comportaban y en qué entornos vivían. Durante años, el equipo del Museo Americano estuvo excavando y excavando para extraer unos bloques del yacimiento de huesos, que luego se distribuían a museos de todo el mundo. Si hoy en día vamos a visitar una gran exposición de dinosaurios, es probable que veamos un *Coelophysis* de Ghost Ranch.

El Rat Pack de Chinle tenía conocimiento asimismo de una última pista, quizá la más importante. Debido a que se encontraron juntos tantos esqueletos de *Coelophysis*, la excavación de la localidad de la fosa común desvió la atención de todo el mundo durante décadas, captó la mayoría de la financiación disponible para trabajo de campo, así como gran parte del tiempo y de la energía de los equipos de trabajo. Pero se trataba de solo una localidad en la totalidad de la extensión de Ghost Ranch, decenas de miles de hectáreas cubiertas por rocas de la formación Chinle ricas en fósiles. Tenía que haber muchos más por la zona. De modo que no fue una sorpresa para el Rat Pack que, en 2002, un gestor forestal retirado con el nombre de John Hayden descubriera algunos huesos mientras paseaba a menos de medio kilómetro de la entrada principal de Ghost Ranch.

Algunos años más tarde, el equipo de Irmis, Nesbitt, Smith y Turner volvió

al lugar, sacaron las herramientas y empezaron a excavar. Les llevó mucho tiempo y mucho sudor. En una ocasión en que me ponía al día con el cuarteto en un pub irlandés de Nueva York, Nate Smith se dirigió a mí, levantó la cabeza hacia el techo y dijo, con cierto ápice de machada descarada: «Con la cantidad de roca que extrajimos aquel verano, sí señor, se podría llenar este bar hasta arriba».



El cráneo de *Coelophysis*, el terópodo primitivo que se encontró en abundancia en Ghost Ranch. *Cortesía de Larry Witmer.*

Pero el tráfago valió la pena. El equipo confirmó que, efectivamente, había huesos fósiles en el lugar. Y entonces siguieron encontrando cada vez más huesos, cientos, miles de ellos. Resultó ser un depósito en el canal de un río, donde las corrientes habían vertido los esqueletos de una gran cantidad de animales poco afortunados, arrastrados por el agua hace unos 212 millones de años. Mediante la combinación adecuada de un buen trabajo detectivesco con el deseo de hacer sus propios descubrimientos, a pesar de ser aún estudiantes, el Rat Pack había desenterrado un tesoro de fósiles del Triásico. El lugar, que recibió el nombre de cantera Hayden por el observador guarda forestal que había advertido aquel primer fósil que sobresalía del suelo erosionado, se ha convertido en una de las localidades de fósiles del Triásico más importantes

del mundo.

La cantera proporciona una instantánea de un ecosistema antiguo, uno de los primeros desiertos en los que los dinosaurios pudieron vivir. No era el panorama que el Rat Pack de Chinle esperaba. Cuando estos jóvenes inconformistas empezaron a excavar, a mediados de la década de 2000, la idea general era que los dinosaurios habían conquistado los desiertos poco después de aparecer, en el Triásico tardío. Otros científicos habían recogido muchos fósiles de unidades rocosas de edad parecida en Nuevo México, Arizona y Texas, que parecían corresponder a más de una docena de especies de dinosaurios, desde corpulentos depredadores culminales, pasando por carnívoros de menor tamaño, hasta varios tipos diferentes de ornitisquios masticadores de plantas, los antepasados de *Triceratops* y de los picos de pato. Parecía que los dinosaurios estaban en todas partes. Pero este no era el caso en la cantera Hayden. Había anfibios monstruosos estrechamente emparentados con los *Metoposaurus* portugueses; cocodrilos primitivos y algunos de sus parientes acorazados de largos hocicos; unos reptiles delgados de patas cortas llamados *Vancleavea*, que parecían perros salchicha con escamas; e incluso otros de menor tamaño y formas graciosas que colgaban de los árboles como camaleones, los drepanosaurios. Estos son los animales más comunes de la cantera. Ninguno de ellos está dentro del grupo de los dinosaurios. De estos, el Rat Pack solo encontró tres tipos: un depredador de pies raudos muy parecido al *Coelophysis* de Baldwin, otro de características también similares denominado *Tawa*, y un carnívoro algo mayor y más robusto llamado *Chindesaurus*, estrechamente emparentado con el *Herrerasaurus* argentino. Hoy por hoy, cada uno de ellos está representado por solo unos pocos fósiles.

Fue una gran sorpresa para el equipo. Los dinosaurios resultaban raros en los desiertos tropicales del Triásico tardío, y en principio solo aparecían los

carnívoros. No había dinosaurios herbívoros, ninguna de las especies de cuellilargos ancestrales tan comunes en las zonas húmedas, ninguno de los antepasados ornitisquios de *Triceratops*. Se trataba de un grupo exiguo de dinosaurios, rodeado por todo tipo de animales de mayor tamaño, más simples, más comunes y más diversos.

¿Qué pasaba, entonces, con las docenas de especies de dinosaurios del Triásico que otros científicos habían identificado en todo el sudoeste de Estados Unidos? Irmis, Nesbitt, Smith y Turner investigaron detenidamente todas las evidencias que pudieron encontrar, para lo cual fueron a todo aquel museo de cualquier pequeña ciudad en el que otros investigadores hubieran depositado los fósiles que habían encontrado. Vieron que la mayor parte de estos especímenes consistían en dientes aislados y fragmentos de huesos, que no son la mejor base para dar nombre a nuevas especies. Pero esto no era lo peor. Cuantos más objetos encontraban en la cantera Hayden, mejor era la imagen de búsqueda que tomaba forma en las mentes del equipo. Llegaron a ser capaces de distinguir un dinosaurio de un cocodrilo o de un anfibio casi por instinto. Y así, en una serie de momentos eureka, se dieron cuenta de que la mayoría de los supuestos fósiles de dinosaurios reunidos por otros no eran en absoluto dinosaurios, sino primitivos primos dinosauromorfos o, en algunos casos, ejemplares de cocodrilos tempranos y de su estirpe, que tenían un aspecto muy parecido al de los dinosaurios.

De modo que no solo ocurría que los dinosaurios fuesen raros en los desiertos del Triásico tardío, sino que, además, convivían con sus parientes arcaicos, los mismos de animales que habían dejado sus huellas diminutas en Polonia cerca de cuarenta millones de años antes. Descubrirlo fue estremecedor. Hasta entonces, casi todo el mundo creía que los primitivos dinosauromorfos eran un grupo ancestral sin demasiado encanto, cuyo único interés era haber dado origen a los magníficos dinosaurios. Una vez cumplida

esta tarea, tanto daba si habían ido desapareciendo hasta la extinción. Pero ahí estaban, por toda Norteamérica, en pleno Triásico, incluida una nueva especie llamada *Dromomeron*, del tamaño de un caniche y encontrada en la cantera Hayden, que vivió junto con auténticos dinosaurios durante unos veinte millones de años.

Es probable que la única persona a la que no le sorprendieron los hallazgos fuera otro estudiante, un argentino llamado Martín Ezcurra, quien, por separado de los cuatro estudiantes de posgrado estadounidenses, estaba empezando a dudar de la identificación de algunos de los supuestos «dinosaurios» norteamericanos encontrados por la anterior generación de paleontólogos. Sin embargo, no tenía los recursos para acudir a estudiarlos, porque era sudamericano y todavía estaba aprendiendo inglés.

Eso, y que era un adolescente.

Sin embargo, una cosa que sí tenía en su país natal era acceso a la tremenda colección de dinosaurios de Ischigualasto, gracias a la generosidad de Ricardo Martínez y a otros conservadores que respondieron positivamente a la insólita petición de un estudiante de instituto que quería visitar sus museos. Martín reunió fotografías de muchos de los misteriosos especímenes norteamericanos, los comparó detenidamente con los dinosaurios argentinos y reconoció que existían diferencias claves. Una especie norteamericana en particular, un carnívoro delgaducho llamado *Eucoelophysis*, que se suponía que era un terópodo, era en realidad un dinosauromorfo primitivo. Publicó este resultado en una revista científica en 2006, el año antes de que Irmis, Nesbitt, Smith y Turner publicaran sus primeros hallazgos. Martín tenía diecisiete años cuando publicó su artículo.

Es difícil desentrañar por qué los dinosaurios se desempeñaban tan mal en los desiertos cuando otros muchos animales, entre ellos sus precursores dinosauromorfos, se las arreglaban tan bien. Para ir al fondo de la cuestión, el

Rat Pack de Chinle colaboró con la dotada geóloga Jessica Whiteside, que también formó parte de nuestros equipos de excavación en Portugal. Jessica es una experta en la lectura de las rocas. Puede contemplar una secuencia y decirnos mejor que nadie que yo haya conocido lo antiguas que son, cómo eran los ambientes cuando se formaron, cuánto calor hacía o incluso cuánto llovía. Si se la deja a sus anchas en una localidad fósil, volverá con un relato del distante pasado, sobre cambios climáticos, modificaciones del tiempo meteorológico, explosiones evolutivas y grandes extinciones.

Jessica puso a trabajar su sexto sentido en Ghost Ranch y determinó que los animales de la cantera Hayden no habían tenido una vida fácil. El ambiente en el que vivían no era plenamente desértico, sino que el clima estacional fluctuaba de manera espectacular. Durante buena parte del año era completamente seco, pero había épocas en que era más húmedo y más fresco; Jessica y el Rat Pack llaman a eso «hiperestacionalidad». El culpable fue el dióxido de carbono. Las mediciones de Jessica muestran que, cuando vivían los animales de la cantera Hayden, había del orden de dos mil quinientas moléculas de este gas por cada millón de moléculas de aire en las regiones tropicales de Pangea. Es decir, más de seis veces la cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera en la actualidad. Reflexionemos sobre esto por un minuto; pensemos en lo rápido que las temperaturas están subiendo hoy en día y en lo preocupados que estamos por el cambio climático futuro, aunque hay mucho menos dióxido de carbono en la atmósfera actual. La elevada concentración de dióxido de carbono en el Triásico tardío inició una reacción en cadena, con enormes fluctuaciones en la temperatura y en las precipitaciones o incendios arrasadores durante unas épocas del año y temporadas de humedad en otras. Hubo problemas para el establecimiento de comunidades estables de plantas.

Esa área de Pangea era caótica, impredecible, inestable. Algunos animales

lidiaron con esto mejor que otros. Parece que los dinosaurios pudieron hacerlo hasta cierto punto, pero no fueron capaces de un verdadero progreso. Los terópodos carnívoros más pequeños pudieron ingeniárselas, pero los herbívoros, más grandes y de crecimiento rápido, que requerían una dieta más constante, no lo consiguieron. Incluso unos veinte millones de años después de haberse originado, y aun después de haber ocupado el nicho de los grandes herbívoros en los ecosistemas húmedos y de haber comenzado a colonizar los trópicos más cálidos, los dinosaurios seguían teniendo problemas con el clima.

Si el lector se encontrara sobre terreno seguro durante una crecida en el Triásico tardío y contemplase a los animales que acabarían enterrados en la cantera Hayden arrastrados por el mismo río estacional en el que se ahogaron, podría haber tenido dificultades en diferenciar algunos de los cadáveres flotantes. Cierto es que sería fácil reconocer una de las supersalamandras gigantes o algunos de aquellos extraños reptiles parecidos a los camaleones. Pero no sería posible distinguir a dinosaurios como *Coelophysis* y *Chindesaurus* de ciertos cocodrilos y afines. Incluso si pudiera observar a estos animales vivos, mientras se dedicaban a alimentarse, desplazarse e interactuar entre sí, seguiría teniendo dificultades.

¿De dónde viene esta confusión? Ahí radica la razón por la que la generación anterior de los paleontólogos que trabajaban en el sudoeste de Estados Unidos identificó tantas veces, de forma errónea, los fósiles de cocodrilos como de dinosaurios, y por la que otros científicos en Europa y Sudamérica incidieron en esta equivocación. Durante el Triásico tardío, había otros muchos animales que tenían de hecho el aspecto y el comportamiento de dinosaurios. En el lenguaje de la biología evolutiva, a esto se le llama

«convergencia»: diferentes tipos de animales que se parecen entre sí debido a semejanzas en los hábitos y en el ambiente. Es la razón por la que aves y murciélagos, ambos voladores, tienen alas. Es la razón por la que serpientes y lombrices, que reptan a través de madrigueras bajo tierra, son largas, delgadas y sin patas.

La convergencia entre dinosaurios y cocodrilos es sorprendente, incluso asombrosa. Los caimanes que merodean por el delta del Mississippi y los cocodrilos que acechan en el Nilo pueden resultar vagamente prehistóricos, pero no se parecen en nada a un *T. rex* o a un *Brontosaurus*. Sin embargo, durante el Triásico tardío los cocodrilos eran muy diferentes.

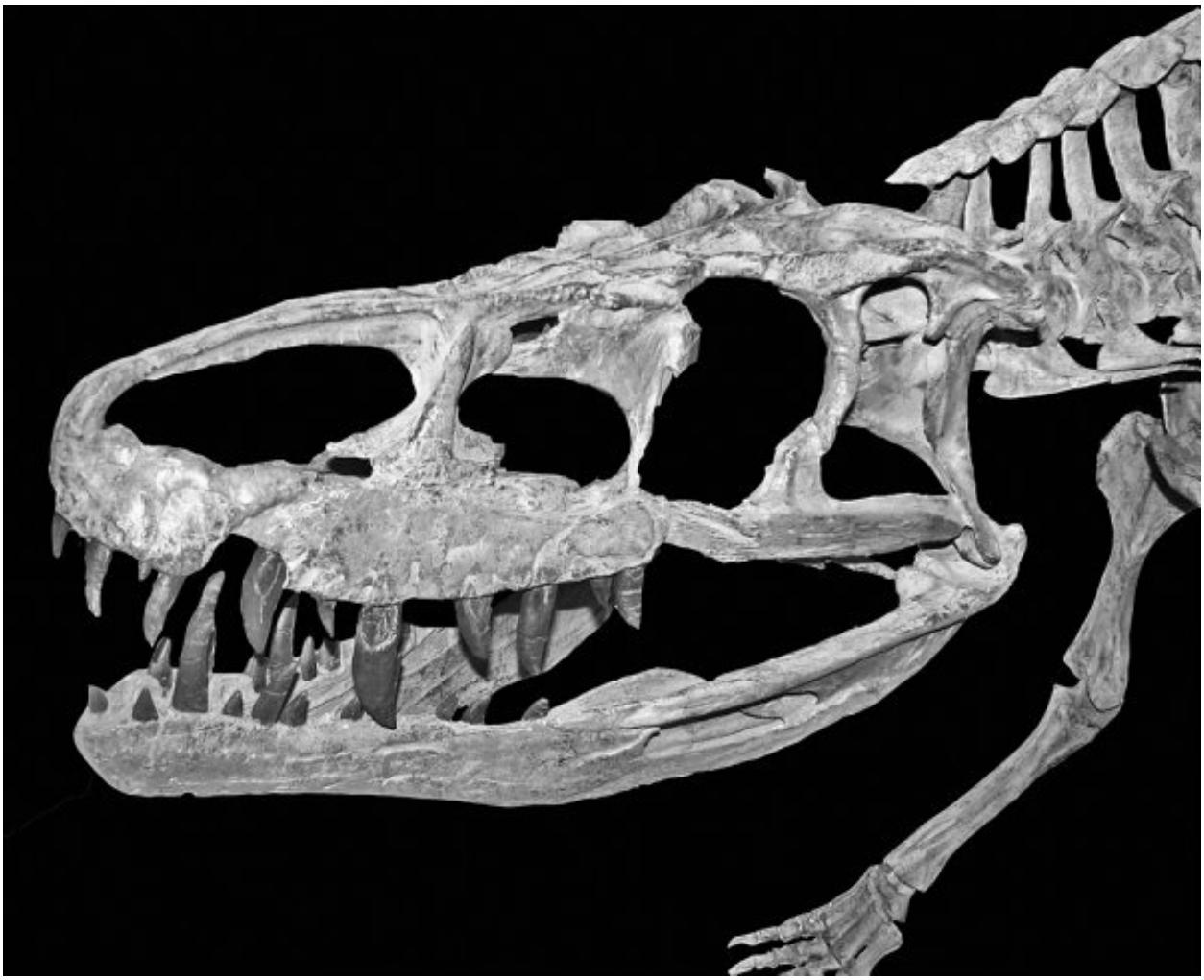
Recuerde el lector que tanto dinosaurios como cocodrilos son arcosaurios, miembros del gran grupo de reptiles que caminaban erectos y que empezaron a florecer después de la extinción en masa del final del Pérmico, que proliferaron porque podían moverse mucho más deprisa y de manera más eficiente que los animales despatarrados de la época. A principios del Triásico, los arcosaurios se dividieron en dos clados principales, los avemetatarsalianos, que condujeron a dinosauromorfos y dinosaurios, y los pseudosuquios, que dieron origen a los cocodrilos. Durante el vertiginoso derroche evolutivo posterior a la extinción, el grupo de los pseudosuquios produjo a su vez otra serie de subgrupos, que se diversificaron en el Triásico pero que después se extinguieron. Debido a que no sobreviven en la actualidad (a diferencia de cocodrilos y dinosaurios, estos en forma de aves), estos grupos se han olvidado en gran parte, considerados rarezas de un pasado distante, callejones evolutivos sin salida que nunca alcanzaron la cumbre. Pero este estereotipo es erróneo, porque durante gran parte del Triásico estos arcosaurios de linaje crocodiliano fueron prósperos.

En la cantera Hayden se puede encontrar la mayoría de los tipos principales de pseudosuquios del Triásico tardío. Hay allí un fitosaurio

llamado *Machaeroprosopus*, un miembro de este grupo de depredadores semiacuáticos de emboscada con largos hocicos, cuyos huesos encontramos asimismo en Portugal. Eran mayores que una lancha motora y capturaban peces (y de vez en cuando algún dinosaurio que pasara por allí) con los cientos de dientes puntiagudos de sus alargadas mandíbulas. Eran vecinos de *Typothorax*, un herbívoro constituido como un tanque, con una coraza que le cubría el cuerpo y unos picos que le surgían del cuello. Pertenece a un grupo denominado «etosaurios», una familia muy exitosa de herbívoros situados en niveles intermedios de la cadena alimentaria, que se parecían mucho a los anquilosaurios, dinosaurios acorazados que aparecerían por evolución millones de años más tarde. Eran buenos excavadores y, quizá, cuidaban de sus crías, hacían nidos y los vigilaban. Después están los cocodrilos propiamente dichos, pero nada parecidos a los que conocemos en la actualidad. Estas especies primitivas del Triásico (la alcurnia ancestral de la que evolucionaron los cocodrilos modernos) parecían galgos; tenían aproximadamente el mismo tamaño que estos, andaban sobre cuatro patas, poseían la constitución escuálida de una supermodelo y podían correr a toda velocidad como campeones. Comían insectos y lagartos y, con toda seguridad, no eran depredadores culminales. Este título sí puede darse a los rauisuquios, un grupo feroz de animales que alcanzaban los 7,5 metros de longitud, mayores que el mayor de los cocodrilos de estuario actuales. Ya hemos conocido antes a uno de ellos, *Saurosuchus*, el máximo depredador en el ecosistema de Ischigualasto, que debió de ser la pesadilla de los primerísimos dinosaurios. Imagine el lector una versión algo más pequeña de un *T. rex* que anduviera sobre cuatro patas, con una cabeza y un cuello llenos de músculos, unos dientes como los clavos de las vía férrea y una mordedura capaz de quebrar huesos.

En Ghost Ranch puede encontrarse otro tipo de arcosaurio del linaje de los

cocodrilos, aunque no en la cantera Hayden propiamente dicha, sino en el cementerio de *Coelophysis* que hay en las cercanías. Se encontró en 1947, no mucho después de que Whitaker descubriera el lecho de huesos, durante aquellas primeras semanas de excavación. El equipo del Museo Americano excavaba tantos esqueletos de *Coelophysis* que, al cabo de un tiempo, la emoción desapareció y empezaron a aburrirse. Todo lo que veían empezaba a parecerse a *Coelophysis*. De modo que no se apercibieron de que uno de los esqueletos recuperados, aunque era similar en tamaño a *Coelophysis* y tenía las mismas patas alargadas y la misma estructura liviana, era un poco diferente en otros aspectos; en particular, tenía pico en lugar de un arsenal de dientes aguzados. Los técnicos en Nueva York tampoco se dieron cuenta. Empezaron a extraer el espécimen del bloque de piedra en el que estaba incrustado, pero estaban ansiosos por dejar el trabajo una vez que se había determinado que se trataba simplemente de otro *Coelophysis*. Podía ir al almacén con todos los demás.



El feroz depredador *Batrachotomus*, uno de los arcosaurios del linaje crocodiliano (rauisuquios) que depredaba en los primeros dinosaurios.

El fósil permaneció en las entrañas del museo, mal conservado y malquerido, hasta 2004. Fue entonces cuando un miembro del cuarteto de Ghost Ranch, Sterling Nesbitt, inició su tesis doctoral en la Universidad de Columbia, en Nueva York. Puesto que tenía en mente un proyecto sobre los dinosaurios del Triásico, repasó todos los fósiles recolectados por Colbert, Whitaker y su equipo en la década de 1940. Muchos estaban todavía recubiertos de yeso, de modo que tendrían que quedarse en los estantes. Pero los conservadores habían abierto y preparado parcialmente el mentado bloque de 1947, de modo que Sterling pudo estudiarlo. Con los ojos llenos de

emoción y un entusiasmo del que carecía el cansado personal que había realizado el trabajo de campo medio siglo atrás, Sterling advirtió que no se encontraba ante un *Coelophysis*. Vio que tenía un pico, se dio cuenta de que las proporciones del cuerpo eran diferentes, de que los brazos eran diminutos. Y después advirtió que ciertos rasgos del tobillo eran casi idénticos a los de los cocodrilos. No contemplaba un dinosaurio, en absoluto, contemplaba un pseudosuquio que mostraba un gran nivel de convergencia con los dinosaurios.

Este era uno de esos descubrimientos con los que sueñan los científicos noveles durante las horas que pasan recluidos, solos con sus pensamientos, rastreando por los cajones de las colecciones de los museos. Puesto que fue Sterling quien lo había descubierto, tenía que darle nombre, y eligió el evocador apelativo de *Effigia okeeffeae*, en el que el primer componente corresponde al término latino para «fantasma», en referencia a Ghost Ranch, mientras que el segundo supone un homenaje a la residente más famosa del rancho. *Effigia* apareció en los titulares internacionales; a los medios de comunicación les gustaba este antiguo animal crocodiliano de aspecto desgarbado, desdentado, con brazos regordetes, que trataba de ser un dinosaurio. Stephen Colbert dedicó incluso una parte de su programa al nuevo descubrimiento, y se quejó en broma de que lo tendrían que haber bautizado en honor de Edwin Colbert (que casualmente compartía el apellido con el comediante) y no de la artista feminista. Recuerdo que cuando lo vi estaba en el último curso de la universidad, precisamente por la época en que planificaba mi propio futuro como licenciado, y me impresionó que el trabajo de un joven estudiante de posgrado pudiera tener tanto impacto.

También me motivó. Hasta aquel momento, me había centrado solo en los dinosaurios, pero empecé a comprender que *Effigia* y los demás pseudosuquios parecidos a aquellos eran fundamentales para entender cómo

habían ascendido a la cumbre. Empecé a leer muchos de los estudios clásicos, firmados por gigantes como Robert Bakker o Alan Charig, que eran efusivos al argumentar por qué los dinosaurios eran especiales. Estaban tan bien dotados, con una velocidad, agilidad, metabolismo e inteligencia superiores, que ganaron en la competencia con todos los demás animales del Triásico, como las salamandras gigantes, los primitivos sinápsidos parecidos a mamíferos o los pseudosuquios de linaje crocodiliano. Los dinosaurios eran los elegidos. Su destino manifiesto era enfrentarse a las especies más débiles, superarlas y establecer un imperio global. Había casi un sentimiento religioso en algunos de estos textos, lo que quizá no es una sorpresa, dado que Bakker efectúa asimismo incursiones como predicador cristiano ecuménico y es famoso por la gran intensidad de sus charlas, que imparte con el estilo de un evangelista que sermonease a su congregación.

Los dinosaurios se impusieron a sus oponentes en el campo de batalla del Triásico tardío. Era una buena historia, pero no acababa de convencerme. Parecía que nuevos descubrimientos cambiaban de manera drástica la narración, y muchos de ellos tenían que ver con los pseudosuquios. Muchos de estos arcosaurios de linaje crocodiliano eran el vivo retrato de dinosaurios. O quizá ocurría justo al revés, quizá los dinosaurios del Triásico intentaban ser pseudosuquios. En cualquier caso, si los dos grupos eran parecidos en tantos aspectos, entonces ¿cómo se podía argumentar que los dinosaurios eran una raza superior? Y no era solo la convergencia entre estos y los pseudosuquios lo que disparaba la señal de alarma. En el Triásico tardío había más pseudosuquios que dinosaurios, más especies y más abundantes en ecosistemas concretos. La colección de primos de los cocodrilos de Ghost Ranch (fitosaurios, etosaurios, rauisuquios, animales del tipo de *Effigia*, verdaderos cocodrilos…) no era fruto de un fenómeno local. Había distintos grupos que prosperaban en gran parte del mundo.

Pero, tal como a los científicos les gusta a menudo decir cuando intentan criticarse unos a otros con sutileza, parecía todo un poco traído por los pelos. ¿Había forma de comparar explícitamente la evolución de dinosaurios y pseudosuquios en el Triásico tardío? ¿Existía alguna manera de comprobar si un grupo tuvo más éxito que el otro, y si esto cambió a lo largo del tiempo? Me zambullí en la literatura sobre estadística, un territorio nada familiar para alguien que, consumido por los dinosaurios, aún no era muy ducho en otros campos y técnicas. Me sentí un poco avergonzado cuando me di cuenta de que los paleontólogos de invertebrados (esos hermanastros pelirrojos nuestros que estudian fósiles de animales que carecen de huesos como almejas y corales) habían dado con un método dos décadas antes, el cual habíamos ignorado los que trabajamos en dinosaurios. Se llamaba «disparidad morfológica».

Parece un término sofisticado, pero es simplemente una medida de la diversidad. Esta puede medirse de muchas maneras. Contar el número de especies es una de ellas: podemos decir que Sudamérica es más diversa que Europa porque allí hay más especies de animales. O bien se puede computar la diversidad sobre la base de la abundancia: los insectos son más diversos que los mamíferos porque hay más insectos en un ecosistema dado. Lo que mide la disparidad morfológica es la diversidad sobre la base de las características de la anatomía. Si se piensa de esta manera, podemos considerar que las aves son más diversas que las medusas, porque las aves poseen un cuerpo mucho más complejo, con muchas partes distintas, mientras que las medusas son simplemente sacos pringosos. Esta forma de medir la diversidad puede ofrecer mucha información sobre la evolución, porque muchos aspectos de la biología, el comportamiento, la dieta, el crecimiento y el metabolismo de los animales dependen de la anatomía. Si queremos saber cómo cambia de hecho un grupo a lo largo del tiempo o

cómo dos grupos se comparan en cuanto a diversidad, yo diría que la disparidad morfológica es el recurso más potente.

Contar el número de especies o la abundancia de individuos es fácil. Todo lo que se necesita es un buen par de ojos y una calculadora. Pero ¿cómo medir la disparidad morfológica? ¿Cómo transformar en una estadística toda la complejidad del cuerpo animal? El enfoque que seguí fue el que habían iniciado los paleontólogos de invertebrados. La cosa fue de la siguiente forma. Primero empecé con una lista de todos los dinosaurios y pseudosuquios del Triásico, pues eran los animales que quería comparar. Después, pasé meses estudiando los fósiles de estas especies e hice una lista de cientos de características del esqueleto en las que se diferencian; algunas tienen cinco dedos, otras tienen tres; algunas andan a cuatro patas, otras sobre dos; algunas tienen dientes, otras no… Codifiqué estos rasgos en una hoja de cálculo con códigos de cero y uno, al igual que lo haría un programador informático. *Herrerasaurus* anda a dos patas, apunto 0; *Saurosuchus* anda a cuatro patas, apunto 1. Al final de casi un año de trabajo, tenía una base de datos con 76 especies del Triásico, cada una de las cuales se había evaluado para 470 características del esqueleto.

Una vez realizado el prolongado esfuerzo del acopio de datos, llegaba la hora de las matemáticas. El siguiente paso era hacer lo que se llama una «matriz de distancias». Sirve para cuantificar lo diferente que es cada especie de todas las demás sobre la base de las características anatómicas. Si dos especies comparten todas las características, entonces su distancia es 0: son idénticas. Si otras dos especies no comparten ninguna característica, entonces su distancia es 1: son completamente diferentes. Para los casos intermedios, bastaría con decir que *Herrerasaurus* y *Saurosuchus* comparten 100 características, pero difieren en otras 370. Su distancia sería de 0,79, los 370 rasgos en que difieren divididos por el total de los 470 rasgos del conjunto de

datos. La mejor manera de visualizarlo es pensar en las tablas que hay en los mapas de carreteras y que dan la distancia entre diferentes ciudades. Chicago se encuentra a 290 kilómetros de Indianápolis. Indianápolis se halla a 2.750 kilómetros de Phoenix. Phoenix está a 2.900 kilómetros de Chicago. Esta tabla es una matriz de distancias.

Y aquí está la trampa con respecto a una matriz de distancias en un atlas. Podemos tomar esta tabla de distancias por carretera entre ciudades, introducirla en un programa informático estadístico y efectuar lo que se llama un «análisis multivariante», y obtendremos un gráfico. Cada ciudad será un punto en dicho gráfico, y los puntos estarán separados por distancias, en proporción perfecta. En otras palabras, el gráfico es un mapa, un mapa geográficamente correcto, con cada una de las ciudades en el lugar y a la distancia precisos. Así pues, ¿qué ocurre si, en cambio, introducimos la matriz de distancias que compendia las diferencias esqueléticas de los dinosaurios y pseudosuquios del Triásico? El programa estadístico producirá asimismo un gráfico en el que cada especie estará representada por un punto, un gráfico que los científicos denominan un «morfoespacio». Pero realmente solo es un mapa. Muestra visualmente la extensión de diversidad anatómica entre los animales en cuestión. Dos especies situadas muy cerca una de otra poseen esqueletos muy similares, de la misma manera que Chicago e Indianápolis se hallan comparativamente cerca desde el punto de vista geográfico. Dos especies en rincones alejados del gráfico tienen una anatomía muy diferente, como la distancia más larga entre Chicago y Phoenix.

Este mapa de dinosaurios y pseudosuquios del Triásico nos permite medir la disparidad morfológica. Podemos agrupar a los animales en el gráfico en función del gran grupo al que pertenecen (dinosaurios o pseudosuquios) y calcular cuál es el que ocupa un mayor espacio en dicho mapa y, por lo tanto, es más diverso anatómicamente. De la misma forma, podemos agrupar

además a los animales por época (Triásico medio frente a Triásico tardío, pongamos por caso) y ver si los dinosaurios o los pseudosuquios se hacían más o menos diversos desde el punto de vista anatómico a medida que avanzaba el periodo. Así lo hicimos, y obtuvimos un resultado sorprendente que publicamos en 2008, en un estudio que contribuyó a catapultar mi carrera. A lo largo de todo el Triásico, los pseudosuquios fueron, desde el punto de vista morfológico, significativamente más diversos que los dinosaurios. Ocupaban una extensión mayor en aquel mapa, lo que significaba que tenían una gama más variada de características anatómicas, lo que indicaba que mostraban una diversidad de dietas, de comportamientos y de formas de ganarse la vida. Ambos grupos se fueron diversificando a medida que avanzaba el Triásico, pero los pseudosuquios siempre iban por delante de los dinosaurios. Lejos de ser unos guerreros extraordinarios que aniquilaban a sus competidores, los dinosaurios fueron eclipsados por sus rivales del linaje crocodiliano durante los treinta millones de años en los que ambos grupos coexistieron, en el Triásico.

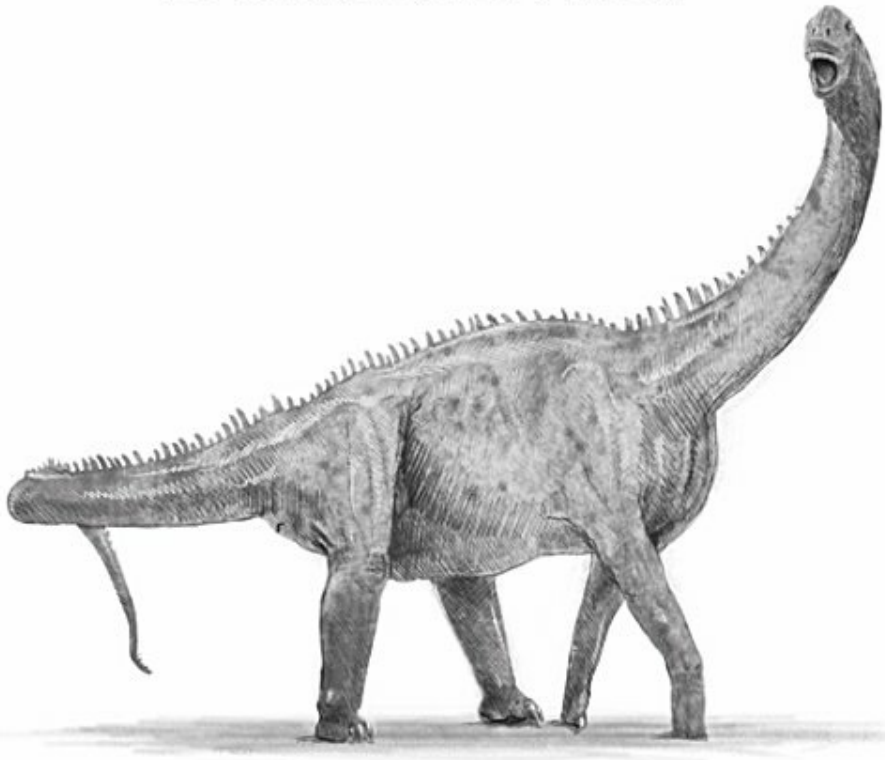
Volvámonos a poner en los pies diminutos y peludos de nuestros antepasados mamíferos del Triásico para dar un vistazo al escenario de Pangea en un momento en el que se acercaba el final del Triásico, hace 201 millones de años. Veríamos dinosaurios, pero no estaríamos rodeados de ellos. Dependiendo de dónde estuviéramos, es posible que ni siquiera los viéramos. Eran relativamente variados en las regiones húmedas, donde los protosaurópodos alcanzaban el tamaño de jirafas y eran los herbívoros más abundantes, pero los terópodos, carnívoros, y los ornitisquios, herbívoros y omnívoros, eran considerablemente más pequeños y menos comunes. En las zonas más áridas, solo había carnívoros pequeños, al ser los herbívoros y las

especies mayores incapaces de tolerar la meteorología hiperestacional y los megamonzones. No había dinosaurios que se parecieran ni remotamente a *Brontosaurus* o a *T. rex* en tamaño, y en todo el supercontinente vivían bajo el yugo de sus adversarios, los pseudosuquios, que estaban mucho más diversificados y tenían mucho más éxito. Probablemente nos parecería que los dinosaurios eran un grupo relativamente marginal. Se las apañaban bien, pero también lo hacían otros muchos tipos de animales que acababan de surgir por evolución. Si nos gustara apostar, probablemente lo hubiéramos hecho por uno de estos otros grupos, muy probablemente por esos molestos arcosaurios del linaje crocodiliano, como los que al final se harían dominantes, alcanzarían tamaños enormes y conquistarían el mundo.

Unos treinta millones de años después de haberse originado, los dinosaurios no habían comenzado aún una revolución global.

3

Los DINOSAURIOS SE HACEN DOMINANTES



Saurópodo escocés

En algún momento de hace aproximadamente 240 millones de años, la Tierra empezó a resquebrajarse. La evolución aún no había llegado a los dinosaurios propiamente dichos, pero sus antepasados dinosauromorfos del tamaño de un gato estuvieron allí para experimentar el agrietamiento… aunque no había mucho que experimentar, al menos todavía no. Pudieron haberse producido algunos terremotos menores, pero es probable que los dinosauromorfos ni siquiera los notasen, pues estaban atareados con cosas más importantes como eludir a las supersalamandras y sobrevivir a los megamonzones. Mientras estos dinosauromorfos daban origen a los dinosaurios, la fractura continuaba a muchos centenares de metros bajo tierra. Imperceptibles en la superficie, estas fisuras se desplazaban lentamente, aumentaban, se unían unas con otras; constituían un peligro oculto que acechaba bajo los pies de *Herrerasaurus*, *Eoraptor* y el resto de los primeros dinosaurios.

Los cimientos mismos de Pangea se estaban fragmentando, y con la misma feliz ignorancia de unos propietarios que no se dan cuenta de que hay una grieta insidiosa en su sótano hasta que la casa empieza a derrumbarse, los dinosaurios no tenían vislumbre alguno de que su mundo iba a cambiar de manera espectacular.

Mientras estos primeros dinosaurios evolucionaban a trompicones durante los treinta millones de años finales del Triásico, unas grandes fuerzas geológicas tiraban de Pangea tanto desde el este como desde el oeste. Este cóctel a escala planetaria de gravedad, calor y presión era lo bastante poderoso como para hacer que los continentes se desplazasen con el tiempo. Puesto que el tirón procedía de dos direcciones opuestas, Pangea comenzó a

estirarse y a hacerse gradualmente más delgada, mientras que cada pequeño terremoto causaba una nueva rasgadura. Imagine el lector Pangea como una pizza gigantesca, despedazada por dos amigos hambrientos que tiran de ella desde extremos opuestos de la mesa; la corteza se hace más delgada hasta que hay una ruptura y la pizza se parte en dos. Lo mismo ocurrió con el supercontinente. Después de algunas decenas de millones de años de un tira y afloja lento y continuado, este contra oeste, las grietas alcanzaron la superficie y la gigantesca masa continental empezó a abrirse por la mitad.

Debido a este antiguo divorcio entre el Pangea oriental y el occidental, la costa de Norteamérica está separada de la de Europa Occidental y Sudamérica se halla separada de África. Asimismo, es por eso por lo que ahora hay un océano Atlántico, que no existía hasta que el agua del mar se precipitó para llenar la brecha entre las masas continentales que se separaban. Estas fuerzas y fracturas de hace unos 200 millones de años conformaron la geografía moderna. Pero acontecieron más cosas, porque los continentes no se separan sin más y ahí se acaba todo. Al igual que con las relaciones humanas, las cosas pueden ponerse muy desagradables cuando un continente se fragmenta. Y los dinosaurios y otros animales que crecieron en Pangea estaban a punto de cambiar para siempre debido a las consecuencias de que su hogar se partiera en dos.

El problema se reduce a que, cuando un continente se desgarra, sangra lava. No es más que física básica. La corteza exterior de la Tierra se despedaza y se hace más fina, lo que reduce la presión en las partes más profundas del planeta. Al disminuir la presión, el magma de lo más profundo sube a la superficie y hace erupción a través de volcanes. Si solo hay un pequeño desgarrón en la corteza (dos pequeños fragmentos de un continente que se separan entre sí, pongamos por caso), entonces los efectos no son tan drásticos. Puede que aparezcan unos pocos volcanes, algo de lava y cenizas,

un cierto nivel de destrucción de ámbito local… y en eso se queda la cosa. Es lo que ocurre en la actualidad en África Oriental, y no es de hecho una catástrofe. Pero si se está separando un supercontinente entero, entonces nos acercamos al ámbito del apocalipsis.

Al final mismo del Triásico, hace 201 millones de años, el mundo se estaba recomponiendo de forma violenta. Durante 40 millones de años, Pangea se había estado desgarrando de manera gradual, y el magma se había acumulado bajo tierra. Ahora que el supercontinente por fin se había resquebrajado, el magma tenía que ir a alguna parte. Como un globo de aire caliente que se elevara en el cielo, el depósito de roca líquida se precipitó hacia arriba, se abrió paso a través de la superficie desmenuzada de Pangea y salió a borbotones sobre la tierra. Al igual que había ocurrido con los volcanes que hicieron erupción al final del periodo Pérmico, unos 50 millones de años antes, y causaron la extinción que permitió que los dinosaurios y sus primos arcosaurios iniciaran su andadura, las erupciones del final del Triásico están muy lejos de cualquier cosa que los humanos hayan contemplado nunca. No estamos hablando del Pinatubo, con esas calientes nubes de ceniza que estallan en el cielo, sino de que, a lo largo de un periodo de unos seiscientos mil años, hubo cuatro inmensos latidos de proporciones dramáticas, en los que unas enormes cantidades de lava surgieron de la zona de rift de Pangea como tsunamis salidos del infierno. No exagero: algunos de aquellos flujos de lava alcanzaron en conjunto los mil metros de espesor, podrían haber enterrado el edificio del Empire State dos veces. Un total de ocho millones de kilómetros cuadrados quedaron anegados en lava en el corazón de Pangea.

Ni que decir tiene que fue una mala época para ser un dinosaurio o, si a eso vamos, cualquier otro tipo de animal. Fueron algunas de las mayores erupciones volcánicas de la historia de la Tierra. La lava no solo bañó el territorio, sino que los gases tóxicos que surgieron con ella envenenaron la

atmósfera y provocaron un calentamiento global desbocado. El resultado fue una de las mayores extinciones en masa de la historia de la vida, una mortandad que afectó a más del 30 por ciento de las especies y quizá a muchas más. Sin embargo, aunque resulte paradójico, fue lo que ayudó a los dinosaurios a superar la depresión de sus inicios vitales y a convertirse en los animales enormes y dominantes que llegarían a encandilar nuestra imaginación.

Si el lector pasea por Broadway, en Nueva York, y acaso coincide con una brecha entre los rascacielos, podrá ver directamente New Jersey, al otro lado del río Hudson. Advertirá que, a ese otro lado, la orilla está definida por un escarpado risco de una anodina roca marrón, con unos treinta metros de altura y tachonado de grietas verticales. Los habitantes del lugar lo conocen como las Palisades. Durante el verano, el risco apenas puede reconocerse, sepultado por un denso bosque de árboles y arbustos que de alguna manera se aferran a esas laderas verticales. Ciudades dormitorio como Jersey City y Fort Lee se encaraman a lo alto, y el extremo occidental del puente de George Washington está incrustado sobre ese punto, un anclaje ideal para el paso sobre el agua más concurrido del mundo. Si el lector quisiera, podría caminar a lo largo de las Palisades durante unos ochenta kilómetros, desde donde empiezan, en Staten Island, para desplazarse a lo largo del Hudson hasta el norte del estado de Nueva York.

Millones de personas contemplan este risco todas las semanas. Cientos de miles viven en él. Pocos son conscientes de que es un retazo de aquellas antiguas erupciones volcánicas que despedazaron Pangea y dieron paso a la Era de los Dinosaurios.

Las Palisades son lo que los geólogos denominan un «dique capa»: una

intrusión de magma que se abre paso entre dos capas de roca situadas a gran profundidad, pero que después se petrifica antes de llegar a hacer erupción en forma de lava. Los diques capa forman parte del sistema de fontanería interna de los volcanes. Antes de convertirse en roca, hacen el papel de tuberías que transportan magma bajo tierra. A veces son conductos que aportan magma a la superficie; otras veces, son extensiones obturadas del sistema volcánico, callejones sin salida de los que el magma no puede escapar. El dique capa de las Palisades se formó al final del Triásico, cuando Pangea se estaba desgarrando a lo largo de lo que se convertiría en la costa oriental de Norteamérica, a solo unos pocos kilómetros de lo que ahora es la ciudad de Nueva York. Se formó a partir de estos mismos magmas que fluían desde las profundidades a medida que el supercontinente se partía en dos.

El magma que se convirtió en el dique capa de las Palisades no llegó jamás a la superficie. Nunca llegó a formar parte de las láminas de lava de mil metros de espesor que surgieron del rift de Pangea, las que inundaron ecosistemas y arrojaron el dióxido de carbono que condenaría a gran parte del planeta. Sin embargo, a unos treinta y cinco kilómetros al oeste, los magmas sí que hicieron erupción, y las rocas basálticas que se formaron a partir de ellos pueden verse en una baja cadena de colinas a la que se conoce como montañas Watchung, en el norte de New Jersey. Denominarlas «montañas» es generoso (solo tienen un par de cientos de metros de altura y cubren una superficie reducida de unos setenta kilómetros de norte a sur), pero constituyen un querido oasis de belleza natural dentro de una de las partes más urbanizadas del mundo.

En medio de las montañas está Livingston, una comunidad dormitorio de unas treinta mil personas. En 1968, un grupo de gente descubrió huellas de dinosaurios a unos tres kilómetros al norte de la ciudad, en una cantera abandonada de la que se habían extraído esquistos rojos, formados en ríos y

lagos cercanos a los antiguos volcanes. Hubo un anuncio en el periódico local que captó la atención de una mujer, que se lo dijo a su hijo de catorce años, Paul Olsen, quien se quedó patidifuso al saber que antaño habían vivido dinosaurios tan cerca de su casa. Llamó a su amigo Tony Lessa y ambos montaron en sus bicicletas y se dirigieron a la antigua cantera. No era más que un agujero en el suelo, cubierto de rocas y de vegetación, pero el descubrimiento había causado sensación en la localidad y ya había allí varios buscadores aficionados, a la caza de más huellas. Olsen y Lessa se hicieron amigos de algunos de ellos, que les enseñaron los aspectos básicos de la recuperación de fósiles: cómo identificar las huellas de los dinosaurios, cómo extraerlas de las rocas y cómo estudiarlas.

Los dos adolescentes se obsesionaron y volvieron varias veces a la cantera. No mucho tiempo después, habían llegado a trabajar hasta altas horas de la noche, a la luz de una fogata, para extraer losas con huellas de dinosaurio, incluso en pleno invierno. Tenían que ir al instituto durante el día, así que solo les quedaba ir allí por la noche. Trabajaron intensamente a lo largo de más de un año, durante más tiempo que cualquier cazarrocas, cuyo número se fue reduciendo una vez que se pasó la emoción del descubrimiento. Los chicos recogieron cientos de huellas dejadas por todo tipo de animales, entre ellas, de dinosaurios carnívoros parecidos a los *Coelophysis* de Ghost Ranch, de dinosaurios herbívoros y de algunos de los animales escamosos y peludos con los que habían convivido. Pero cuanto más recolectaban, más consternados estaban; durante las excavaciones nocturnas, se veían interrumpidos constantemente por camiones que acudían a verter basura ilegalmente y, mientras estaban en el instituto, los coleccionistas desaprensivos se colaban a menudo en la cantera y se llevaban de forma furtiva las huellas que los muchachos aún no habían podido extraer.

Así pues, ¿qué es lo que podía hacer un adolescente de la década de 1960

cuando estaban destruyendo su yacimiento fósil favorito? Paul Olsen eludió los intermediarios y se dirigió directamente a la cumbre. Empezó escribiendo cartas a Richard Nixon, el presidente recién elegido, que todavía no había caído en desgracia. Muchas cartas. Le rogaba que empleara sus poderes como presidente para que la cantera se conservase como un parque protegido, e incluso envió un molde de fibra de vidrio de una huella de terópodo a la Casa Blanca. Olsen también encabezó una campaña mediática, y su semblanza apareció en un artículo de la revista *Life*. La persistencia sin complejos del chico dio buenos resultados; en 1970, la compañía propietaria de la cantera donó el terreno al condado, que lo transformó en un parque de dinosaurios llamado Localidad Fósil de Riker Hill. Al año siguiente, se concedió al yacimiento la condición de hito nacional oficial, y Olsen recibió un reconocimiento presidencial por su trabajo. Aunque entonces no lo sabía, también estuvo a un paso de hacer una visita a la Casa Blanca. Algunos de los ayudantes de Nixon encargados de cuidar su imagen pensaron que la oportunidad de hacerse una foto con un joven entusiasta de la ciencia mejoraría la imagen pública del mofletudo presidente, pero en el último momento el plan fue abortado por John Ehrlichman, el asesor de Nixon que más tarde sería uno de los principales villanos del Watergate.

Fue un gran logro para un muchacho: hacer acopio de un montón de rastros de dinosaurios, conseguir que el yacimiento se conservara para la posteridad y convertirse en amigo por correspondencia del presidente. Pero Paul Olsen no se detuvo ahí. Fue a la universidad para estudiar geología y paleontología, completó la tesis doctoral en Yale y fue contratado como profesor en la Universidad de Columbia, al otro lado del Hudson desde Riker Hill. Se convirtió en uno de los principales teóricos de la paleontología del mundo y fue elegido miembro de la Academia Nacional de las Ciencias, uno de los mayores honores para cualquier científico estadounidense. También tuvo la

responsabilidad de ser miembro de mi comisión de doctorado, un honor mucho menor, cuando preparaba la tesis en Nueva York. Durante aquel tiempo se convirtió en uno de los tutores en quien más confiaba, y en una brillante caja de resonancia para cualquier idea loca de investigación que se me ocurriera. Lo ayudé durante dos años, mientras enseñaba su famoso curso universitario sobre dinosaurios en Columbia, siempre atosigado por los alumnos más novatos, que quedaban seducidos por aquel eminente científico con un bigote blanco parecido al de Geraldo,[3] que se pavoneaba con el entusiasmo inducido por la ingesta de algunas bebidas energéticas antes de la clase. Buena parte de mi estilo en el aula, vivaz, impetuoso y animado, procede de observar a Paul.

Hizo su carrera a base de continuar lo que había iniciado como adolescente. Gran parte de su trabajo se ha centrado en la época en que los dinosaurios dejaron sus huellas en New Jersey: la fragmentación de Pangea en los últimos momentos del Triásico, las inimaginables erupciones volcánicas, la extinción en masa y el auge de los dinosaurios hasta llegar a dominar el mundo, cuando el Triásico dio pasó al periodo Jurásico subsiguiente.

Aunque no lo sabía la primera vez que fue en su bicicleta a aquella cantera siendo un chaval, Paul había crecido en el mejor lugar del mundo para estudiar el Triásico tardío y el Jurásico temprano. El terruño de su adolescencia se encuentra dentro de una estructura geológica denominada cuenca de Newark, una depresión en forma de cuenco llena de rocas del Triásico y del Jurásico. Es una de muchas estructuras similares (denominadas cuencas de rift, porque se formaron al dividirse Pangea) que se extienden por más de mil quinientos kilómetros a lo largo de la costa oriental de Norteamérica. La bahía de Fundy, al norte, en Canadá, se abre a una de estas cuencas. Más al sur está la de Hartford, que corta gran parte del Connecticut

central y de Massachusetts. Después viene la cuenca de Newark, seguida por la de Gettysburg, sede de la famosa batalla de la guerra civil estadounidense, cuya topografía, de hecho, fue fundamental en el planteamiento de la estrategia militar, que consistió en asegurarse la toma de posiciones de terreno elevado. Al sur de Gettysburg hay muchas cuencas más pequeñas, que tachonan las áreas rurales de Virginia y Carolina del Norte, y que en última instancia culminan en la enorme cuenca de Deep River, en el interior de Carolina.

Estas cuencas de rift siguen la fractura entre el Pangea oriental y el occidental. Son la línea divisoria, la frontera, el lugar en el que el supercontinente se desgarró. Cuando estas fuerzas que tiraban del este y del oeste empezaron a separarlo, se formaron fallas a gran profundidad de la corteza, que cortaban a través de lo que había sido roca sólida. Cada tirón causaba un terremoto, que hacía que las rocas a cada lado de la falla se movieran un poco en relación con las otras. A lo largo de millones de años, las fallas alcanzaron la superficie y, como sea que un lado continuó cayendo, se formó una cuenca, una depresión en el lado descendiente de la falla, bordeada por una cordillera elevada en el lado ascendente. Cada una de las cuencas de rift del este de Norteamérica se formó de esta manera, como resultado de más de 30 millones de años de presión, tensión y temblores.

Es exactamente lo que ocurre en la actualidad en África Oriental, al separarse África de Oriente Próximo al ritmo aproximado de un centímetro cada año. Las dos masas continentales estuvieron conectadas hace unos 35 millones de años, pero hoy en día están separadas por el largo y estrecho mar Rojo, que continúa ensanchándose un año tras otro y que algún día se convertirá en un océano. En la zona meridional del continente africano, hay una banda de cuencas que corren de norte a sur, cada una de las cuales se vuelve más ancha y más profunda con cada terremoto que tira de África y

Arabia, y las separa. Algunos de los lagos más profundos del mundo, como el Tanganica, que tiene casi un kilómetro y medio de profundidad, ocupan algunas de dichas cuencas. Otras están entrecruzadas por ríos embravecidos, que se precipitan desde las montañas situadas más arriba e irrigan los grandes ecosistemas tropicales, rebosantes de algunas de las plantas y animales africanos más conocidos. Esparcidos por todas partes, asomando en lugares aleatorios, hay volcanes como el Kilimanjaro, válvulas de escape para el magma que se acumula bajo la corteza a medida que la tierra se fractura. En ocasiones, uno de ellos explota y anega las cuencas, junto con sus habitantes, en lava y ceniza.

La cuenca de Newark en la que creció Paul Olsen y las otras muchas que bordean la costa oriental de Norteamérica experimentaron un proceso de evolución similar. Se fueron formando gradualmente mediante terremotos, recibieron el aporte de ríos que sirvieron de sostén a ecosistemas diversos y, por último, se hicieron tan profundas y se llenaron tanto de agua que los ríos se transformaron en lagos y, después, en función de los caprichos del clima, los lagos se secaron, aparecieron nuevos ríos y todo el proceso volvió a empezar. Así un ciclo tras otro y tras otro ciclo. Los dinosaurios, los primos pseudosuquios de los cocodrilos, las supersalamandras y los parientes primitivos de los mamíferos prosperaron a lo largo de las orillas de los ríos, así como los peces proliferaron hasta colmar los lagos. Estos animales dejaron sus fósiles (las huellas que Paul Olsen empezó a recoger cuando era un adolescente, así como huesos) en cientos de metros de areniscas, pizarras y otras rocas depositadas en los ríos y lagos. Y después, cuando Pangea se hubo dilatado hasta el límite, la corteza explotó y los volcanes empezaron a entrar en erupción, enterrando las cuencas y a los animales que vivían en ellas.

Las primeras erupciones no tuvieron lugar en la región de la cuenca de

Newark, sino en lo que en la actualidad es Marruecos, que en aquella época se hallaba acodado sobre lo que se convertiría en el este de Norteamérica, a solo unos pocos cientos de kilómetros de la moderna ciudad de Nueva York. Después empezó a brotar lava de otros lugares en los que Pangea se estaba dividiendo: en la cuenca de Newark, en lo que en la actualidad es Brasil, en aquellos mismos ambientes lacustres en los que encontramos el depósito de salamandras en Portugal… todo ello a lo largo de aquella línea de sutura que, muchos millones de años más tarde, se transformaría en el océano Atlántico. La lava penetró en cuatro oleadas, cada una de las cuales abrasó las cuencas de rift, antes verdes, y difundió gases tóxicos por todo el planeta, con lo que una situación mala fue cada vez peor. No fue hasta transcurrido aproximadamente un millón de años (un parpadeo en términos geológicos) que las erupciones cesaron, pero habían transformado la Tierra para siempre.

Los dinosaurios, los arcosaurios pseudosuquios del linaje crocodiliano, los grandes anfibios y los parientes de los mamíferos primigenios que vivían en las cuencas de rift eran dichosamente ignorantes de lo que estaba a punto de ocurrir. Las cosas empeoraron de forma vertiginosa.

Las erupciones iniciales de Marruecos liberaron nubes de dióxido de carbono, un gas de potente efecto invernadero que en poco tiempo caldeó el planeta. Hubo tal calentamiento que unas extrañas formaciones de hielo sumergidas en el interior del fondo marino, llamadas «clatratos», se derritieron al unísono en todos los océanos del planeta. Los clatratos no son como los bloques de hielo sólido a los que estamos acostumbrados, los que ponemos en las bebidas o esculpimos en caprichosas esculturas en las fiestas. Son una sustancia más porosa, una celosía de moléculas de agua heladas que pueden atrapar otras sustancias en su interior. Una de dichas sustancias es el metano, un gas que rezuma constantemente desde las profundidades de la Tierra y se infiltra en los océanos, pero que queda encerrado en los clatratos

antes de poder escapar a la atmósfera. El metano es desagradable; es un gas de efecto invernadero más potente incluso que el dióxido de carbono, y su capacidad de caldear la Tierra es de más de treinta y cinco veces la de este gas. De manera que, cuando el primer torrente de dióxido de carbono volcánico aumentó las temperaturas globales y derritió los clatratos, todo el metano anteriormente atrapado bajo el océano se liberó de golpe. Esto inició un proceso desenfrenado de caldeamiento global. La cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera se triplicó en cuestión de aproximadamente unas pocas decenas de miles de años, y las temperaturas aumentaron del orden de 3 o 4 grados.

Los ecosistemas terrestres y oceánicos no pudieron resistir un cambio tan rápido. Las temperaturas mucho más cálidas imposibilitaron el crecimiento de muchas plantas y, de hecho, más del 95 por ciento de ellas se extinguió. Los animales que se alimentaban de plantas se encontraron sin comida, y muchos reptiles, anfibios y primeros parientes de los mamíferos desaparecieron asimismo, como una hilera de fichas en efecto dominó en la cadena alimentaria. Las reacciones químicas en cadena hicieron que aumentase la acidez del océano, lo que diezmó a los organismos con caparazones calcáreos y desbarató las redes tróficas. El clima se volvió peligrosamente variable, con episodios de calor intenso seguidos de periodos más frescos. Esto aumentó las diferencias de temperatura entre el Pangea septentrional y el meridional, lo que provocó que los megamonzones fueran más severos, que la humedad aumentase aún más en las regiones costeras y que los interiores continentales devinieran mucho más secos. Pangea no había sido nunca un lugar particularmente acogedor, pero aquellos primeros dinosaurios, que ya se hallaban limitados por los monzones, los desiertos y sus rivales pseudosuquios, se encontraban ahora en una situación incluso peor.

Así pues, ¿cómo hicieron estas criaturas, que se hallaban todavía en una fase relativamente temprana de su evolución, para arreglárselas en un mundo que estaba cambiando tan rápidamente? Las pistas se encuentran en las huellas que Paul Olsen lleva estudiando desde hace casi cincuenta años. La cantera que exploró en New Jersey es una de entre más de cincuenta localidades en las que se han encontrado huellas de dinosaurios a lo largo de la costa oriental de Estados Unidos y Canadá. Dichos lugares se sitúan unos encima de otros, en una secuencia geológica que se extiende más de 30 millones de años, desde la época aproximada en que aparecieron los primeros dinosaurios en lo que ahora es Sudamérica (aún ausentes de la Norteamérica actual), a lo largo del Triásico tardío, pasando por la extinción volcánica y hasta el periodo Jurásico subsiguiente. Generaciones de dinosaurios y de otros animales dejaron sus rastros en estos lechos cíclicos de areniscas y pizarras depositados en las cuencas de rift, y al estudiarlos en sucesión se puede ver su evolución.

Las rocas cuentan un relato importante. Durante el Triásico tardío, que empezó hace unos 225 millones de años, cuando las cuencas de rift apenas se empezaban a formar, los dinosaurios comenzaron a dejar sus marcas en la forma de un puñado de huellas. Existen rastros de tres dedos denominados *Grallator*, que van desde cinco a quince centímetros de longitud, dejados por unos dinosaurios de pequeño tamaño, carnívoros y corredores céleres que se mantenían sobre dos patas, como los *Coelophysis* de Ghost Ranch. Hay un segundo tipo de rastros denominados *Atreipus*, que tienen aproximadamente el mismo tamaño que *Grallator* pero que contienen pequeñas huellas de manos junto a las de los pies de tres dedos, una señal de que el animal que las dejó andaba a cuatro patas. Es probable que las dejaran los dinosaurios ornitisquios primitivos (los primos más antiguos de *Triceratops* y de los dinosaurios de pico de pato), o quizá los dinosauromorfos, primos cercanos

de los dinosaurios. Muy superiores en número son las huellas que dejaron los pseudosuquios, los anfibios de gran tamaño, los protomamíferos y los lagartos pequeños. Había dinosaurios, pero todavía eran actores secundarios en los ecosistemas de la cuenca de rift, y así fue hasta el final del Triásico.

Pero entonces los volcanes se pusieron en marcha. De repente, en las primeras rocas del Jurásico por encima de la lava, la diversidad de los rastros de animales distintos a los dinosaurios se reduce de manera espectacular. Muchos desaparecen abruptamente, incluidas algunas de las huellas más conspicuas de los pseudosuquios, esos primos de los cocodrilos que antes habían sido más abundantes y diversos que los dinosaurios. Mientras que los dinosaurios suponían solo alrededor del 20 por ciento del total de los rastros anteriores a los volcanes, inmediatamente después les pertenecen la mitad de todas las huellas. En el registro aparece una variedad de rastros de nuevas especies de estos animales: un dúo de huellas de manos y pies denominado *Anomoepus*, que probablemente dejó un ornitisquio; unas grandes huellas de cuatro dedos llamadas *Otozoum*, que dejaron los primeros protosaurópodos cuellilargos que vivieron en los valles del rift; y un rastro de tres dedos llamado *Eubrontes*, que pertenecía a otro tipo de depredador veloz. Estos rastros *Eubrontes* tienen unos treinta y cinco centímetros de longitud, un aumento de tamaño considerable con respecto a las huellas *Grallator* que dejó un tipo similar de carnívoros, pero mucho más pequeños, durante los días del Triásico anteriores a los volcanes.

Probablemente no es lo que cabría esperar. Después de que algunas de las mayores erupciones volcánicas de la historia de la Tierra profanaran los ecosistemas, los dinosaurios se hicieron más diversos, más abundantes y más grandes. Aparecieron especies completamente nuevas de dinosaurios por evolución, las cuales se diseminaron por entornos nuevos, mientras que, sin embargo, otros grupos de animales se extinguían. A pesar de que el mundo se

iba al garete, los dinosaurios prosperaban, aprovechando de alguna manera el caos que había a su alrededor.

Cuando los volcanes se quedaron sin lava y su reinado de terror de seiscientos mil años hubo terminado, el mundo era un lugar muy distinto del que había sido en el Triásico tardío. Era mucho más cálido, las tempestades eran más intensas y había incendios con facilidad; nuevos tipos de helechos y ginkgos sustituyeron a las antaño abundantes coníferas de hoja ancha, y muchos de los animales más carismáticos del Triásico habían desaparecido. Tanto los parientes de los mamíferos con aspecto de cerdo, los dicinodontes, como esos herbívoros con pico que eran los rincosaurios se habían extinguido; los anfibios, las supersalamandras, habían desaparecido casi en su totalidad. ¿Y qué había sido de los pseudosuquios, aquellos arcosaurios de linaje crocodiliano que habían superado a los dinosaurios en número, en potencia muscular y, al parecer, en competencia, durante los últimos treinta millones de años del Triásico? Casi todas las especies mordieron el polvo. Los hocicudos fitosaurios, los etosaurios de aspecto de tanque, los rauisuquios, depredadores culminales, y esos extraños bichos parecidos a los dinosaurios del tipo de *Effigia*… de ninguno de ellos se supo nada después. Los únicos pseudosuquios que consiguieron permanecer después de la gran fragmentación de Pangea fueron unos pocos tipos de crocodilianos primitivos, un pequeño grupo rezagado y agotado por la batalla que, al final, evolucionaría para dar lugar a los caimanes y cocodrilos modernos, pero que nunca volverían a conocer el éxito del que habían gozado en el Triásico tardío, cuando parecían destinados a adueñarse del mundo.

De algún modo, los dinosaurios salieron vencedores. Resistieron la división de Pangea, el vulcanismo, los caprichosos cambios del clima y los incendios que diezmaron a sus rivales. Me gustaría tener una buena respuesta al por qué. Es un misterio que, literalmente, me ha tenido noches sin dormir.

¿Había algo especial en los dinosaurios que les confirió una ventaja sobre los pseudosuquios y los demás animales extinguidos? ¿Crecían más deprisa, se reproducían más rápido, tenían un metabolismo superior o se movían de manera más eficiente? ¿Tenían maneras mejores de respirar, de esconderse o de aislar el cuerpo durante las oleadas de calor y frío extremos? Es posible, pero el hecho de que tantos dinosaurios y pseudosuquios tuvieran un aspecto y un comportamiento tan parecido hace que estas ideas sean tenues en el mejor de los casos. Quizá los dinosaurios simplemente tuvieron más suerte. Quizá las reglas normales de la evolución quedan desmanteladas cuando tiene lugar una catástrofe global tan repentina y devastadora. Podría ser que los dinosaurios, sencillamente, fueran esos pasajeros que salieron indemnes de un accidente de aviación, salvados por la buena fortuna, cuando tantos otros han muerto.

Sea cual sea la respuesta, se trata de un enigma que espera a ser resuelto por la siguiente generación de paleontólogos.

El periodo Jurásico señala el inicio de la Era de los Dinosaurios propiamente dicha. Sí, los primeros dinosaurios auténticos aparecieron en escena al menos 30 millones de años antes del comienzo del Jurásico. Pero, tal como hemos visto, no tenían siquiera una posibilidad remota de ser dominantes. Entonces Pangea comenzó a dividirse, y los dinosaurios surgieron de las cenizas y se encontraron con un mundo nuevo, mucho más vacío, que se dispusieron a conquistar. A lo largo de las primeras decenas de millones de años del Jurásico, los dinosaurios se diversificaron en una gama vertiginosa de nuevas especies. Se originaron subgrupos completamente nuevos, algunos de los cuales persistirían durante otros 130 millones de años y aún más. Aumentaron de tamaño y se extendieron por el globo, colonizando áreas

húmedas, desiertos y hábitats intermedios. Hacia el momento central del Jurásico, los principales tipos de dinosaurios podían encontrarse por todo el mundo. Aquella imagen por antonomasia, que con tanta frecuencia se repite en las exposiciones museísticas y en los libros infantiles, era real como la vida misma: los dinosaurios hacían retumbar la tierra, en la parte superior de la cadena trófica; feroces carnívoros se entremezclaban con gigantes cuellilargos y herbívoros acorazados y con placas, mientras los pequeños mamíferos, lagartos y ranas huían despavoridos.

Hagamos un pequeño sumario de algunos de los dinosaurios más conocidos que empezaron a aparecer después de que los volcanes del rift de Pangea dieran paso al Jurásico. Había terópodos carnívoros como *Dilophosaurus*, con una extraña cresta doble de mohicano sobre el cráneo y que, con unos seis metros de largo, era mucho mayor que *Coelophysis*, del tamaño de una mula, y que la mayoría de los demás carnívoros del Triásico. Los ornitisquios recubiertos de placas acorazadas, como *Scelidosaurus* y *Scutellosaurus*, no tardarían en dar origen a los familiares anquilosaurios, de aspecto de tanque, y a los estegosaurios, con el dorso cubierto de placas. Los ornitisquios más pequeños, de movimientos rápidos y probablemente omnívoros, como *Heterodontosaurus* y *Lesothosaurus*, eran los miembros iniciales del linaje que en última instancia daría lugar a los dinosaurios cornudos y de pico de pato. Otros dinosaurios conocidos que ya habían aparecido en el Triásico pero limitados a solo unos pocos ambientes, como los protosaurópodos de cuello largo y los ornitisquios más primitivos, empezaron finalmente a migrar por todo el planeta.

No hay nada en este inventario de la diversidad creciente que resuma mejor la dominancia recién obtenida de los dinosaurios que los saurópodos, esos gigantes inconfundibles que se dedicaban a devorar plantas, de largo cuello, de patas columnares, de vientre enorme y cerebro pequeño. Algunos de los

dinosaurios más famosos son saurópodos, como *Brontosaurus*, *Brachiosaurus* o *Diplodocus*. Aparecen en casi todas las exposiciones de museos y son las estrellas de *Jurassic Park*; Pedro Picapiedra trabajaba en la cantera de pizarra a lomos de uno de ellos, y durante décadas un saurópodo verde ha sido el logo de Standard Oil. Junto con *Tyrannosaurus rex*, son los dinosaurios icónicos.

Los saurópodos evolucionaron en el Triásico tardío a partir de una estirpe ancestral, a la que yo llamo «protosaurópodos». Estas protoespecies las conformaban herbívoros de tamaños que iban desde el de un perro al de una jirafa, con un cuello relativamente largo, los cuales figuraron entre aquella primera oleada de dinosaurios que apareció en Ischigualasto hace unos 230 millones de años. Entonces se convirtieron en los principales herbívoros en las regiones húmedas del Pangea del Triásico, pero no pudieron desplegar todo su potencial debido a la incapacidad para establecerse en los desiertos. Esto cambió en el primer tramo del Jurásico, cuando los saurópodos pudieron librarse de las restricciones ambientales y desplazarse por todo el globo, evolucionando hasta desarrollar un cuello de fideo y alcanzando en el proceso tamaños monstruosos.

A lo largo de las últimas décadas, han empezado a aparecer fósiles de algunos de los primeros saurópodos gigantes (que pesaban más de diez toneladas, alcanzaban más de quince metros de largo y tenían un cuello que se podía elevar hacia el cielo a una altura de varios pisos) en Escocia, en una bella isla en las aguas de la costa occidental llamada Skye. Las pistas han sido escasas (el hueso de una extremidad corpulenta aquí, un diente o una vértebra de la cola allí), pero apuntan a un animal de un tamaño enorme que vivió hace unos 170 millones de años, con el Jurásico lo suficiente asentado para que la fragmentación de Pangea y el apocalipsis volcánico fueran recuerdos distantes, pero aún en el momento en el que los dinosaurios

realizaban unas últimas florituras en el acceso a la dominancia.

Cráneo de *Plateosaurus*, uno de los protosaurópodos, el linaje ancestral que dio origen a los saurópodos.

Los saurópodos fósiles de Skye captaron mi interés cuando me mudé a Escocia en 2013 para incorporarme a un nuevo puesto en la Universidad de Edimburgo, recién terminada la tesis doctoral en Nueva York y emocionado como un loco por la puesta en marcha de mi propio laboratorio de investigación. Durante las primeras semanas de trabajo empecé a relacionarme con dos científicos de mi departamento, Mark Wilkinson, un curtido geólogo de campo cuya cola de caballo y barba descuidada le

confieren el aspecto de un hippy, y Tom Challands, un hombretón pelirrojo que posee también un doctorado en paleontología, aunque sobre fósiles microscópicos de hace unos 400 millones de años. Tom acababa de cerrar un periodo en el mundo real, durante el que había puesto sus habilidades geológicas a disposición de una empresa energética para buscar petróleo. Durante parte de ese tiempo, había vivido en una autocaravana preparada por encargo, en la que había una cama y una pequeña cocina, y que aparcaba cerca de cualquier sitio en el que estuviera prospectando. Su nueva novia había puesto punto final a ese estilo de vida una vez que se hubieron casado, pero la autocaravana todavía era útil para desplazamientos de trabajo de campo, y Tom pasaba a menudo los fines de semana conduciendo a lo largo de las neblinosas costas de Escocia en busca de cualquier fósil que pudiera encontrar. Tanto Tom como Mark habían hecho algo de trabajo geológico en Skye y conocían bien el terreno, de modo que nos pusimos de acuerdo para buscar fósiles de los misteriosos saurópodos gigantes que fueran mejores que los disponibles.

Cuanto más leíamos sobre Skye, más aparecía un nombre, el de Dugald Ross. Yo no estaba familiarizado con él. No era un paleontólogo, ni un geólogo, ni ningún tipo de científico. Pero había descubierto y descrito muchos de los dinosaurios fósiles que se habían hallado en Skye. Dugald era un chico de la localidad que había crecido en la minúscula aldea de Ellishadder, en el lejano brazo nororiental de la isla, un paisaje accidentado lleno de picos escarpados, colinas verdes, arroyos teñidos por la turba y costas barridas por el viento, que parece surgido de una novela fantástica, muy al estilo de Tolkien. En el hogar de su infancia se hablaba gaélico, el idioma nativo de las Highlands escocesas, empleado en la actualidad solo por unas cincuenta mil personas, pero que todavía tiene presencia en las señales de tráfico y en los colegios de islas remotas como Skye. Cuando Dugald tenía

quince años, encontró un alijo de puntas de flecha y artefactos de la Edad del Bronce cerca de la casa de su familia, lo que despertó en él una obsesión con la historia de su isla nativa que continuó en la edad adulta, al tiempo que se forjaba una carrera como constructor y *crofter* (un término de las Highlands escocesas que se aplica a granjeros y ganaderos a pequeña escala).

El encantador paisaje de la isla de Skye, Escocia.

Me puse en contacto con Dugald y le conté nuestros sueños de encontrar enormes dinosaurios en su isla. Fue uno de los mensajes de correo electrónico más afortunados que haya enviado nunca, porque supuso el inicio de una amistad y de una notable colaboración científica. Dugald (o Dugie, como prefiere que lo llamen) nos invitó a visitarlo cuando fuimos a la isla algunos meses después. Nos indicó que siguiéramos la carretera principal, de dos carriles, que serpentea a lo largo de la costa del nordeste de Skye y nos

reuniéramos con él en un edificio alargado parecido a un rancho, constituido por un conjunto de piedras grises de distintos tamaños y un techo de tejas negras, con un montón de instrumentos agrícolas antiguos desparramados por la pradería. Había un cartel en la parte anterior que rezaba «Taigh-Tasgaidh», el término gaélico para museo. Dugie salió de su gran furgoneta de trabajo de color rojo con un conjunto de llaves maestras enormes, se presentó y nos condujo lleno de orgullo al interior. En un acento lírico y de dicción suave (una encantadora combinación de escocés al estilo de Sean Connery y de acento irlandés) nos explicó cómo se había servido de las ruinas de una escuela de una sola sala y había construido la estructura en la que nos encontrábamos, el Museo Staffin. Lo había fundado con diecinueve años. En la actualidad, esta estancia única (sin una cafetería, ni una gran tienda de regalos, ni ninguno de los adornos de los museos de las grandes ciudades, ni siquiera electricidad) aloja a muchos de los dinosaurios que Dugie ha encontrado en Skye, junto con artefactos que trazan la historia de los habitantes humanos de la isla. Es una experiencia surrealista: grandes huesos y huellas de dinosaurios expuestos junto a antiguas ruedas de molino, unas barras de hierro para extraer nabos y antiguas trampas para topos que antaño usaban los granjeros de las Highlands.

Durante el resto de aquella semana, Dugie nos condujo a muchos de sus puntos de prospección favoritos. Encontramos muchos fósiles del Jurásico (la mandíbula de un cocodrilo del tamaño de un perro o los dientes y los huesos de la columna de unos reptiles llamados «ictiosaurios», que se parecían a delfines y vivían en los océanos cuando los dinosaurios empezaban a dominar la tierra), pero no saurópodos gigantes. Durante los años siguientes volvimos a Skye.

Dugie Ross extrayendo un hueso de dinosaurio de una peña en Skye.

Huellas de saurópodos en la pista de baile de dinosaurios que descubrí con Tom Challands

en la isla de Skye.

Por fin, en la primavera de 2015, encontramos lo que buscábamos, aunque al principio no nos dimos cuenta. Pasábamos la mayor parte del día a cuatro patas, en busca de diminutos dientes y escamas de peces que se encontraban incrustados en una plataforma de rocas del Jurásico que se extendía hasta las heladas aguas del Atlántico norte, justo bajo las ruinas de un castillo del siglo XIV. Era cosa de Tom; ahora se dedica al estudio de peces fósiles y, a cambio de su ayuda para encontrar dinosaurios, le prometí colaborar en la recogida de fragmentos de peces. Habíamos estado contemplando las rocas durante horas, hasta el extremo de bizquear, e íbamos envueltos en tres capas de prendas impermeables, pero aun así estábamos helados. La marea subía, la luz del final de la tarde se iba reduciendo y la cena nos llamaba. De modo que Tom y yo recogimos el equipo y las bolsas con los dientes de peces, y nos dirigimos hacia su autocaravana tuneada al otro lado de la playa. Entonces algo captó nuestra atención. Era una depresión deforme de la roca, del tamaño aproximado de un neumático de automóvil. Se nos había pasado por alto hasta ese momento porque teníamos los ojos enfocados en los huesos de peces, mucho más pequeños, y la imagen de búsqueda era del todo inadecuada para advertir algo tan grande.

Al seguir caminando, empezamos a advertir otras muchas depresiones similares, ahora visibles bajo el ángulo rasante de la luz de la tarde. Todas tenían aproximadamente el mismo tamaño y, cuanto más detenidamente las observábamos, más patente quedaba que se extendían en todas direcciones en nuestro derredor. Parecían mostrar un patrón. Los agujeros individuales estaban alineados en dos largas filas, en algo parecido a una disposición en zigzag: izquierda-derecha, izquierda-derecha, izquierda-derecha. Varias bandas con esta disposición se entrecruzaban por gran parte de la plataforma

rocosa sobre la que habíamos estado trabajando todo el día.

Tom y yo nos miramos. Era una de esas miradas cómplices entre hermanos, una conexión no verbal basada en años de experiencia compartida. Habíamos visto antes este tipo de cosas, no en Escocia, sino en lugares como España y el occidente de Norteamérica. Sabíamos lo que eran.

Los agujeros que teníamos ante nosotros eran unos rastros fosilizados enormes. Rastros de dinosaurios, sin duda. Cuando los observamos con más atención, pudimos ver que eran huellas tanto de manos como de pies, y algunas tenían las marcas de los dedos. Presentaban la forma característica de huellas dejadas por saurópodos. Habíamos encontrado una «pista de baile» de dinosaurios de 170 millones de años de antigüedad, unos registros dejados por unos saurópodos colosales, de unos quince metros de largo y que pesaban tanto como tres elefantes.

Los rastros se dejaron en una antigua laguna, un ambiente que no se suele asociar con los saurópodos. Por lo general, imaginamos a estos dinosaurios monstruosos moviéndose en estampida por tierra, causando un pequeño terremoto con cada paso. Y así lo hacían. Pero, a mediados del Jurásico, los saurópodos se habían diversificado tanto que empezaron a expandirse hacia otros ecosistemas, siempre en busca de las enormes cantidades de alimentos vegetales que necesitaban para hacer funcionar su gigantesco cuerpo. La localidad de rastros que encontramos en Skye tiene al menos tres capas diferentes de huellas, dejadas por diferentes generaciones de saurópodos que vadeaban por una laguna salada y convivían con dinosaurios herbívoros de menor tamaño, con algún carnívoro ocasional del tamaño de una camioneta y con muchos tipos de cocodrilos, lagartos y mamíferos nadadores de cola plana parecidos a los castores. Por aquel entonces, Escocia era mucho más cálida, una región de pantanos, playas arenosas y ríos serpenteantes en una isla situada en medio del creciente océano Atlántico, entre las masas

continentales norteamericana y europea, que se iban separando cada vez más a medida que Pangea se dividía. Los saurópodos y otros dinosaurios eran los dueños absolutos de esta tierra, finalmente convertidos en un fenómeno global.

Lo cierto es que no hay mejor manera de decirlo: los saurópodos que dejaron sus huellas en aquella antigua laguna escocesa eran unos animales formidables en el sentido literal del término; eran impresionantes, intimidantes, inspiraban asombro. Si me dieran una hoja de papel en blanco y un bolígrafo y me dijeran que inventase una bestia mítica, mi imaginación no podría nunca igualar lo que la evolución hizo con los saurópodos. Pero fueron reales; nacían, crecían, se desplazaban, comían y respiraban, se escondían de los depredadores, dormían, dejaban huellas, morían. Y, en la actualidad, no hay nada en absoluto que se parezca a los saurópodos, ningún animal con el tipo anatómico de panza hinchada y cuello largo, ninguno en tierra que se acerque ni siquiera en lo más remoto a su tamaño.

Los saurópodos son tan rematadamente grandes que, cuando se descubrieron los primeros huesos fósiles en la década de 1820, los científicos se vieron en un apuro. Los dinosaurios empezaban a encontrarse más o menos por la misma época, como el carnívoro *Megalosaurus* y el herbívoro con pico *Iguanodon*. Se trataba de animales grandes, sin duda, pero ni siquiera se acercaban al tamaño de los que habían dejado los huesos gigantescos de los saurópodos. De modo que los científicos no conectaron a unos con otros. En lugar de ello, consideraron que los huesos de los saurópodos pertenecían al único tipo de animal que sabían que podía alcanzar un tamaño tan enorme: las ballenas. Pasaron algunas décadas antes de que se pudiera corregir aquel error. Para mayor asombro, descubrimientos

posteriores demostrarían que muchos saurópodos alcanzaban tamaños incluso superiores a los de la mayoría de las ballenas. Fueron los animales más grandes que jamás hayan hollado la tierra, y forzaron el límite de lo que la evolución puede lograr.

Esto plantea una pregunta que ha fascinado a los paleontólogos durante más de un siglo: ¿cómo es posible que los saurópodos llegasen a ser tan grandes?

Es uno de los grandes enigmas de la paleontología. Pero antes de intentar resolverlo, primero hay que elucidar una cuestión más fundamental: ¿qué tamaño alcanzaron los saurópodos? ¿Qué longitud tenían, hasta qué altura podían estirar su cuello y, más importante, cuánto pesaban? Resulta que estas son preguntas difíciles de contestar, en particular en lo que se refiere al peso, porque no podemos poner un dinosaurio en una balanza y pesarlo sin más. Un secreto del oficio es que muchas de las cifras fantásticas que vemos en los libros o en las exposiciones museísticas («¡*Brontosaurus* pesaba cien toneladas y era mayor que un avión!») son meras invenciones, conjeturas fundamentadas o, en algunos casos, ni siquiera eso. Sin embargo, los paleontólogos han dado recientemente con dos enfoques diferentes para determinar de manera más precisa el peso de un dinosaurio a partir de los huesos fósiles.

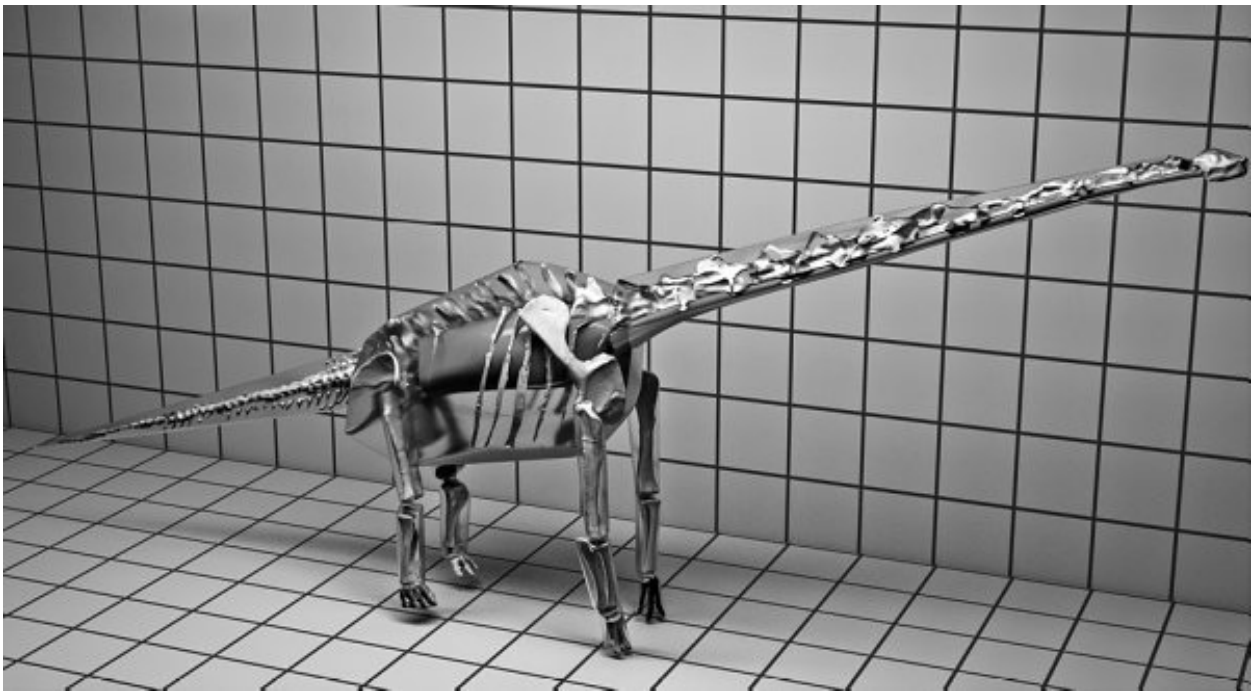
El primero es en realidad muy simple y se apoya en la física básica: los animales más pesados requieren que los huesos de las extremidades sean más fuertes para poder soportar su peso. Este principio lógico se refleja en la manera en la que los animales están construidos. Los científicos han medido los huesos de las patas de muchos animales vivos, y resulta que el grosor del hueso principal de cada extremidad que sostiene al animal (el fémur únicamente para aquellos que andan sobre dos patas o el fémur más el húmero para los que andan a cuatro patas) tiene una gran correlación

estadística con el peso del animal. En otras palabras, existe una ecuación básica que funciona para casi todos los animales vivos: si se puede medir el grosor de los huesos de las patas, entonces se puede calcular el peso corporal con un margen de error reducido pero reconocido, una ecuación de álgebra simple que se puede realizar con una calculadora modesta.

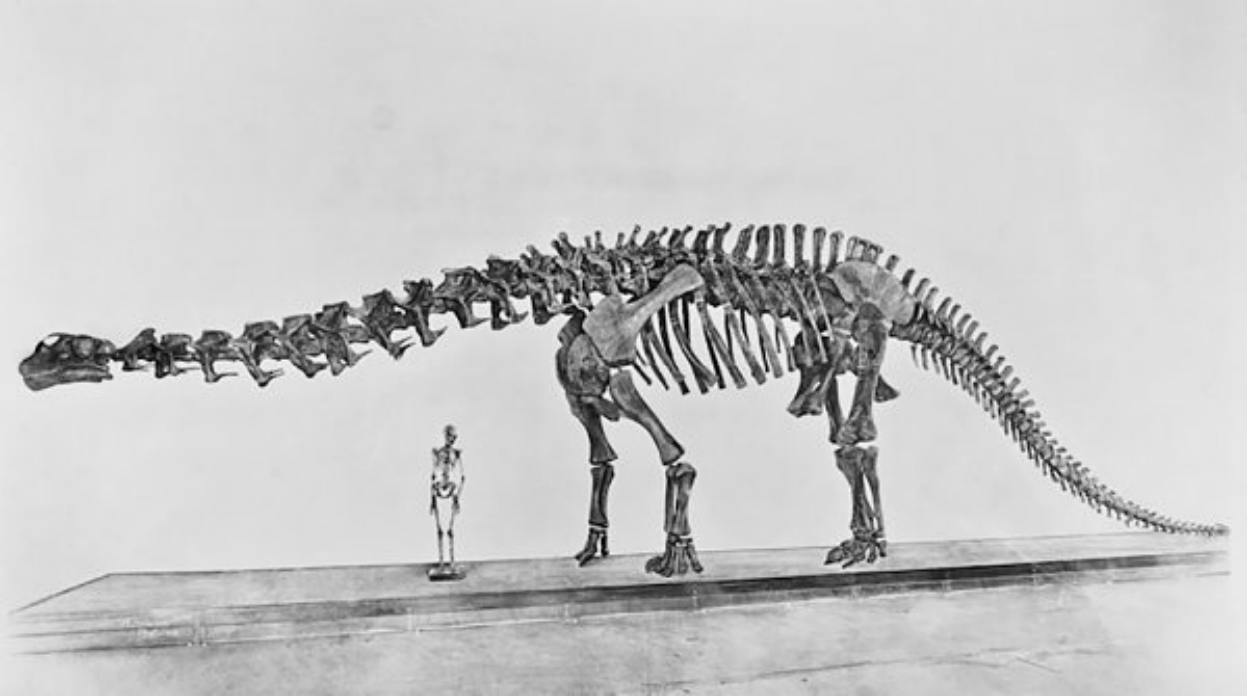
El segundo método es más intensivo, pero mucho más interesante. Los científicos están empezando a construir modelos digitales tridimensionales de los esqueletos de los dinosaurios; mediante una serie de programas informáticos, se añaden la piel, los músculos y los órganos internos, y se calcula el peso corporal. Es un método iniciado por unos jóvenes paleontólogos y paleontólogas de origen británico (Karl Bates, Charlotte Brassey, Peter Falkingham y Susie Maidment) y su red de colaboradores, que incluye desde biólogos especializados en animales vivos hasta expertos en informática y programadores.

Hace algunos años, cuando finalizaba la tesis doctoral, Karl y Peter me invitaron a formar parte de un estudio del tamaño y de las proporciones del cuerpo de los saurópodos mediante el uso de modelos digitales. El objetivo era ambicioso: efectuar animaciones informáticas detalladas de todos los saurópodos de los que hubiera esqueletos lo bastante completos y averiguar cuán grandes eran estos animales y cómo les cambiaba el cuerpo a medida que crecían, hasta alcanzar esos tamaños realmente titánicos. Me invitaron por pura pragmática; algunos de los mejores esqueletos de saurópodos del mundo se exhiben en el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, donde yo me hallaba en aquella época, y necesitaban datos para un ejemplar en particular, una especie del Jurásico tardío llamada *Barosaurus*. Me enseñaron cómo reunir la información para construir el modelo, y me sorprendió que todo lo que hacía falta era una cámara digital normal, un trípode y una barra de escala. Hice alrededor de un centenar de fotografías del

esqueleto montado de *Barosaurus* desde todos los ángulos posibles, manteniendo la cámara estable sobre el trípode y asegurándome de que incluía una regla graduada en la mayoría de las imágenes. Después, Karl y Peter las introdujeron en un programa informático que empareja los puntos equivalentes en las fotografías y calcula las distancias entre ellos sobre la base de la escala, de forma continua, hasta que se construye un modelo tridimensional a partir de las imágenes bidimensionales originales.



Un modelo informático del esqueleto del saurópodo *Giraffatitan*, que ayuda a los científicos a calcular el peso del animal. *Cortesía de Peter Falkingham y Karl Bates.*



Brontosaurus en el Museo Americano de Historia Natural, en Nueva York, con un esqueleto humano para ver la escala. *Museo Americano de Historia Natural.*

Imagen #36246a, Biblioteca del Museo Americano de Historia Natural

A dicha técnica se la denomina «fotogrametría», y está revolucionando la manera en que estudiamos los dinosaurios. Los modelos superexactos que crea pueden medirse con un detalle preciso. También pueden cargarse en un programa de animación para hacer que corran o salten, con el fin de determinar de qué tipo de movimientos y comportamientos eran capaces. Pueden utilizarse incluso para animar películas o documentales televisivos, con lo que se asegura que en pantalla aparezcan los dinosaurios más realistas posibles. Estos modelos los están haciendo retornar a la vida.

Nuestro estudio a partir de un modelo informático y otros estudios más tradicionales basados en mediciones de los huesos de las patas llegan a la misma conclusión: los dinosaurios saurópodos eran realmente muy muy grandes. Los protosaurópodos primitivos como *Plateosaurus* empezaron a tener tamaños relativamente grandes en el Triásico, cuando algunos de ellos

llegaron hasta las dos o tres toneladas de peso, lo que equivale a una o dos jirafas más o menos. Pero después de que Pangea comenzara a dividirse, los volcanes hicieran erupción y el Triásico diese paso al Jurásico, los verdaderos saurópodos se hicieron mucho mayores. Los que dejaron sus rastros en la laguna escocesa pesaban de veinte a treinta toneladas, y más avanzado el Jurásico, bestias famosas como *Brontosaurus* y *Brachiosaurus* crecieron hasta más de treinta. Pero esto no era nada comparado con algunas especies del Cretácico, de tamaño extremo, como *Dreadnoughtus*, *Patagotitan* o *Argentinosaurus* (miembros de un supergrupo que ha recibido el adecuado nombre de «titanosaurios»), que pesaban más de cincuenta toneladas, por encima de un Boeing 737.

Hoy en día, los animales terrestres más grandes y más pesados son los elefantes, que varían de tamaño en función de la especie a la que pertenecen y del hábitat en el que se encuentren, pero que en su mayoría pesan unas cinco o seis toneladas. Aparentemente, el mayor de los registrados pesaba alrededor de once toneladas. Esto no es nada comparado con los saurópodos. Lo que nos devuelve a la pregunta del millón: ¿cómo pudieron estos dinosaurios alcanzar tamaños tan por completo fuera de escala en comparación con cualquier otra cosa que la evolución haya producido nunca?

Lo primero que hay que considerar es qué es lo que los animales requieren para hacerse grandes de verdad. Quizá lo más evidente es que necesitan comer mucho. Sobre la base de su tamaño y de la calidad nutritiva de los alimentos más comunes en el Jurásico, se ha estimado que un saurópodo grande como *Brontosaurus* probablemente debía de comer alrededor de cincuenta kilogramos de hojas, tallos y ramitas al día, quizá más. De modo que necesitaban una manera de obtener y digerir estas enormes cantidades de alimento. En segundo lugar, tenían que crecer muy rápido. Hacerlo poco a poco, un año tras otro, está muy bien, pero si te hacen falta cien años para

hacerte grande, esto se traduce en muchas oportunidades para que los depredadores te coman o que te caiga encima un árbol durante una tormenta o que una enfermedad te lleve por delante mucho antes de que crezcas hasta tener un cuerpo adulto de tamaño normal. En tercer lugar, tenían que ser capaces de respirar de manera muy eficiente, para poder inspirar el oxígeno suficiente para hacer funcionar todas las reacciones metabólicas en su cuerpo inmenso. Cuarto, debían contar con una estructura anatómica tal que el esqueleto fuera fuerte y robusto, pero al mismo tiempo no tan voluminoso que no pudieran moverse. Por último, debían expulsar el exceso de calor corporal, porque en un clima cálido es muy fácil que un animal grande se sobrecaliente y muera.

Los saurópodos tuvieron que contar con todo esto. Pero ¿cómo? Muchos científicos que empezaron a meditar sobre este enigma hace ya décadas dieron la respuesta más fácil: quizá había algo distinto en el ambiente físico del Triásico, del Jurásico y del Cretácico. Quizá la gravedad era más débil, de modo que los animales más pesados podían moverse y crecer más fácilmente en aquel entonces; o quizá había más oxígeno en la atmósfera, de modo que los descomunales saurópodos podían respirar y, por lo tanto, crecer y metabolizar de manera más eficiente. Estas especulaciones podrían parecer convincentes, pero, si se las analiza detalladamente, no tienen base. No hay evidencia de que la gravedad fuera sustancialmente diferente durante la Era de los Dinosaurios, y en aquel entonces los niveles de oxígeno eran aproximadamente los mismos que hoy en día, o quizá incluso algo menores.

Esto deja solo una explicación plausible: había algo intrínseco en los saurópodos que les permitió romper los grilletes que atenazaban a todos los demás animales terrestres (mamíferos, reptiles, anfibios, incluso otros dinosaurios) en tamaños menores. La clave parece ser su esquema corporal único, una mezcla de características que evolucionaron poco a poco durante

el Triásico y el Jurásico temprano y que culminaron en un animal adaptado a la perfección para prosperar con un tamaño grande.

Todo empieza con el cuello. El cuello largo, cenceño y elegante es probablemente la característica individual más distintiva de los saurópodos. Un cuello más largo de lo normal empezó a evolucionar en los protosaurópodos más primitivos del Triásico y se hizo proporcionalmente más largo con el tiempo, pues en los saurópodos aparecieron más vértebras (los huesos individuales del cuello) y se alargó mucho cada vértebra individual. Como la armadura de Iron Man, el cuello largo confería una especie de superpoder; permitía que los saurópodos alcanzaran los árboles a mayor altura con más facilidad que otros animales herbívoros, lo que les daba acceso a todo un nuevo recurso alimentario. También podían detenerse durante varias horas en un punto y extender el cuello arriba y abajo y a todo su alrededor, como un recolector de cerezas, e ingerir plantas con un gasto energético muy reducido. Esto significaba que podían comer más, y así incorporar energía de manera más eficiente que sus competidores. Esta es la ventaja adaptativa número uno: el cuello les permitía comer las enormes pitanzas necesarias para alcanzar su peso desmesurado.

Después está la manera en que crecían. Recuerde el lector que los ancestros dinosauromorfos de los dinosaurios habían desarrollado un metabolismo de mayor rendimiento, unas tasas de crecimiento más rápidas y un estilo de vida más activo que muchos de los anfibios y reptiles que también se estaban diversificando en el Triásico temprano. No eran letárgicos, y no les llevaba una eternidad crecer hasta la edad adulta, como a una iguana o a un cocodrilo. Lo mismo ocurría con todos sus descendientes dinosaurios. Los estudios del crecimiento óseo indican que la mayoría de los saurópodos maduraban desde crías del tamaño de cobayas hasta adultos del tamaño de aviones en solo unos treinta o cuarenta años, un periodo de tiempo

increíblemente corto para una metamorfosis tan notable. Esta es la ventaja número dos: los saurópodos obtuvieron de sus antepasados distantes, del tamaño de un gato, el crecimiento rápido esencial para alcanzar grandes dimensiones.

Conservaron algo más de sus antepasados del Triásico: un pulmón muy eficiente. Los pulmones de los saurópodos eran muy parecidos a los de las aves y muy diferentes de los nuestros. Mientras que los mamíferos poseen un pulmón simple que inhala oxígeno y exhala dióxido de carbono en un ciclo, las aves tienen lo que se denomina un «pulmón unidireccional», en el que el aire fluye solo en una dirección y el oxígeno se extrae tanto durante la inhalación como en la exhalación. El pulmón del tipo del de las aves es muy eficiente, al absorber oxígeno en cada inspiración y en cada espiración. Es una característica asombrosa de ingeniería biológica, por la que se materializa una serie de sacos aéreos parecidos a globos que están conectados al pulmón; estos almacenan algo del aire rico en oxígeno que entra durante la inhalación, para que pueda pasar a través del pulmón durante la exhalación. No se preocupe el lector si suena confuso; descubrir cómo funciona este extraño pulmón les costó muchas décadas de estudio a los biólogos.

Sabemos que los saurópodos tenían un pulmón como el de las aves porque muchos huesos de la cavidad torácica tienen grandes aberturas, llamadas «fenestras neumáticas», por cuyo interior se extienden los sacos aéreos. Las aves modernas presentan esas mismas estructuras, que solo los sacos aéreos pueden originar. De modo que esta es la adaptación número tres: los saurópodos tenían unos pulmones ultraeficientes, que podían incorporar oxígeno suficiente para avivar el metabolismo a pesar de su tamaño enorme. Los dinosaurios terópodos poseían los pulmones del mismo tipo que el de las aves, lo que pudo haber sido un factor que permitiese a los tiranosaurios y a otros cazadores gigantes alcanzar un tamaño tan grande, pero los dinosaurios

ornitisquios no los tenían. Esta es la razón por la que los dinosaurios de pico de pato, los estegosaurios, las especies cornudas y los dinosaurios acorazados no pudieron nunca alcanzar el enorme tamaño de los saurópodos.

Resulta que los sacos aéreos tienen también otra función. Además de almacenar aire en el ciclo de respiración, aligeran el esqueleto cuando penetran en los huesos. Efectivamente, agujerean el hueso, de modo que este todavía tiene una capa externa fuerte, pero es mucho más liviano, de la misma manera que un balón de balonmano es más ligero que una roca de tamaño similar. ¿Quiere saber el lector cómo podían los saurópodos mantener su largo cuello sin venirse abajo como un balancín desequilibrado? Ello se debe a que todas las vértebras estaban tan perforadas por sacos aéreos que eran poco más que panales, ligeros como plumas, pero todavía fuertes. Y esta es la cuarta ventaja: los sacos aéreos proporcionaban a los saurópodos un esqueleto a la vez robusto y lo bastante ligero como para desplazarse. Sin sacos aéreos, mamíferos, lagartos y dinosaurios ornitisquios no tuvieron esta suerte.

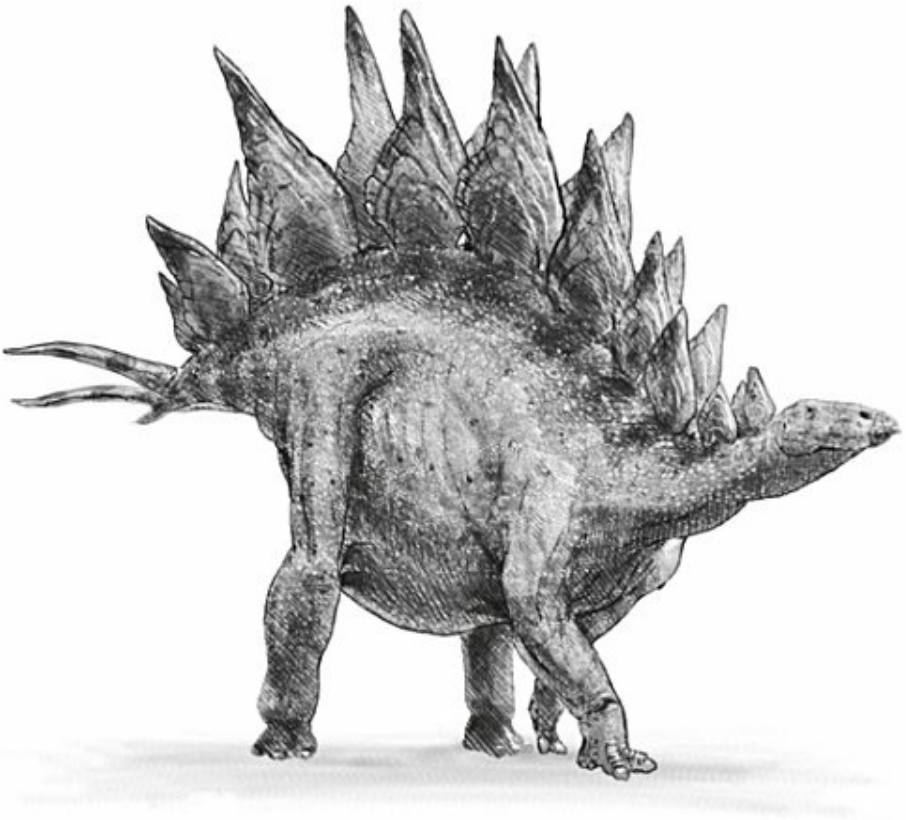
¿Y qué hay de la quinta adaptación especial, la posibilidad de expulsar el exceso de calor corporal? Los pulmones y los sacos aéreos también fueron de ayuda para eso. Había muchos sacos aéreos, que se extendían por una gran parte del cuerpo y se abrían paso en el interior de los huesos y entre los órganos internos, lo que proporcionaba una gran superficie para disipar el calor. Cada espiración caliente la enfriaba este sistema de aire acondicionado central.

Juntando todo esto es como se puede construir un dinosaurio supergigante. Si los saurópodos hubieran carecido de cualquiera de estas características (el cuello largo, las tasas de crecimiento rápidas, el pulmón eficiente, el sistema de sacos aéreos que aligeraba el esqueleto y enfriaba el cuerpo), entonces es probable que no hubieran sido capaces de convertirse en semejantes colosos.

No hubiera sido posible en términos biológicos. Pero la evolución reunió todas las piezas, las juntó en el orden adecuado y, cuando el juego estuvo montado en el mundo posvolcánico del Jurásico, los saurópodos se encontraron de repente capaces de hacer algo que ningún otro animal, antes o después, ha podido hacer. Alcanzaron unas proporciones bíblicas y se extendieron por todo el mundo; se hicieron dominantes de la manera más magnífica… y lo seguirían siendo durante otros 100 millones de años.

4

DINOSAURIOS *y* CONTINENTES *a la* DERIVA



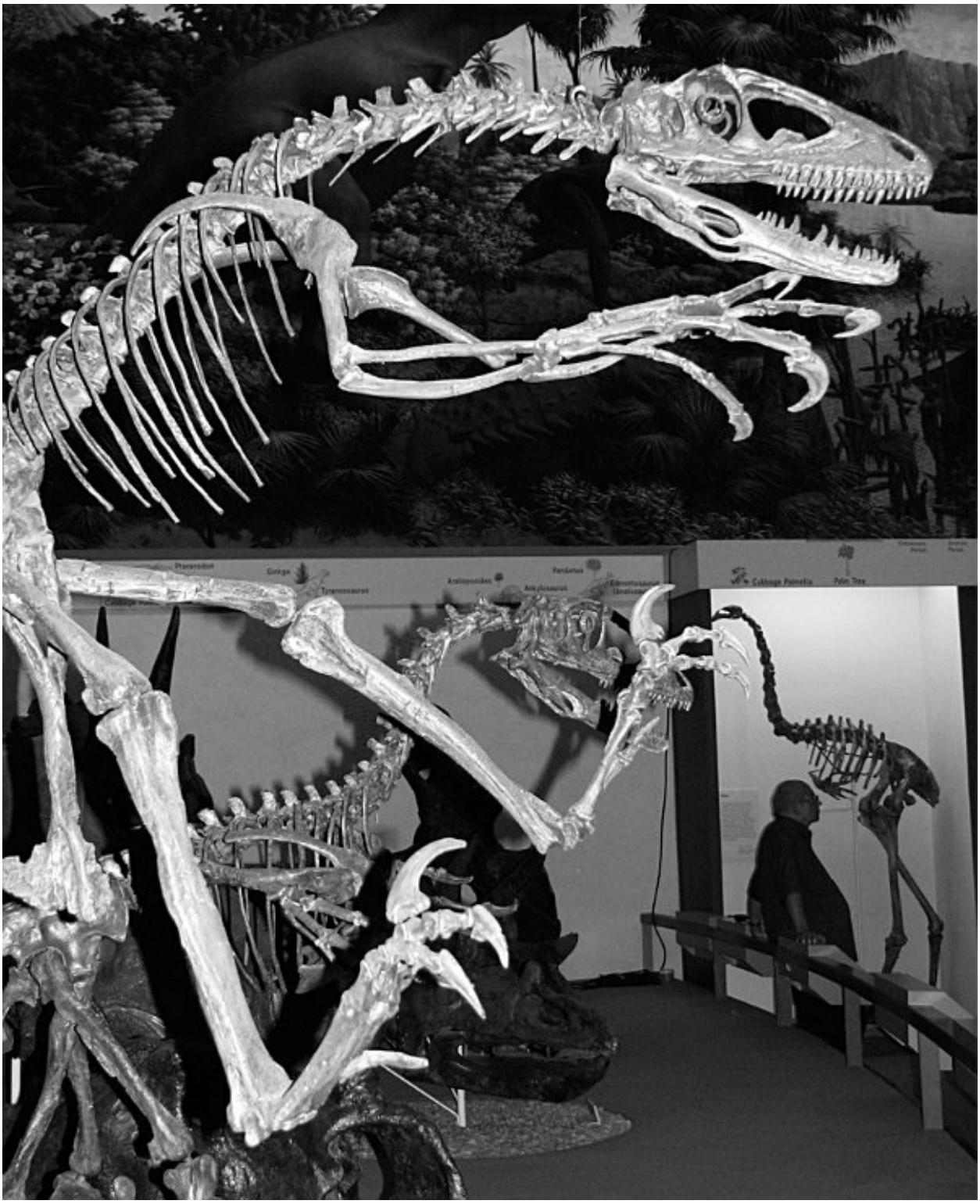
Stegosaurus

Acurrucado en las arboladas calles de New Haven, en Connecticut, en los márgenes septentrionales del campus de la Universidad de Yale, hay un santuario. La Gran Sala de los Dinosaurios del Museo Peabody de Yale quizá no se promociona como un lugar de peregrinaje espiritual, pero para mí sin duda lo es. Me estremece, como cuando asistía de niño a la misa católica. No es un santuario normal; no hay estatuas de deidades, cirios parpadeantes ni aroma a incienso. Tampoco es particularmente grandiosa, al menos desde el exterior, al hallarse escondida dentro de un edificio de ladrillos más o menos anodino que hace juego con los auditorios de la universidad. Pero alberga reliquias que, para mí, son tan sagradas como las que se pueden encontrar en la mayoría de los santuarios religiosos: dinosaurios. No conozco ningún lugar mejor en todo el planeta para sumergirse en las maravillas del mundo prehistórico.

La Gran Sala se construyó en la década de 1920 para almacenar la incomparable colección de dinosaurios de Yale, reunida a lo largo de muchas décadas por una serie de perforadores que se distribuían por todo el oeste de Estados Unidos y que, por el salario adecuado, enviaban tesoros fósiles al este para que los estudiara la élite de la Ivy League.[4] A punto de cumplir el centenario, la galería conserva todo el encanto original. No se trata de un espacio de exposición de los tiempos modernos, con destellantes pantallas de ordenador, hologramas de dinosaurios y una rugiente banda sonora de fondo. Es un templo de la ciencia, donde los esqueletos de algunos de los dinosaurios más icónicos se yerguen en vigilia solemne, bajo una luz mortecina, en ese silencio que uno espera, de hecho, en una iglesia.

Hay un mural que cubre toda la pared oriental, que se extiende a lo largo de treinta y cuatro metros, con cinco metros de altura. Es obra de un hombre llamado Rudolph Zallinger, que nació en Siberia, se trasladó a Estados Unidos y se dedicó profesionalmente a la ilustración durante la Gran Depresión; le llevó cuatro años y medio completarlo. Si Zallinger viviera en la actualidad, probablemente trabajaría para un estudio de animación como artista de guiones gráficos. Era un maestro a la hora de preparar escenas y de incorporar distintos grupos de personajes, y contaba historias grandiosas con el trazo de sus pinceles. Su obra más famosa es sin duda *The March of Progress*, esa cronología de la evolución humana, a menudo satirizada, en la que un simio que anda sobre los nudillos se transforma gradualmente en un hombre que porta una lanza. Probablemente hay más personas que han llegado a comprender la teoría de la evolución, o a malinterpretarla, a través de aquella imagen que por los manuales, clases y exposiciones de museos de todo el mundo.

Pero antes de pintar humanos, Zallinger estaba obsesionado con los dinosaurios. Su mural en el interior de la Gran Sala, *The Age of Reptiles*, es el logro supremo de aquella fase de su carrera. Se ha reproducido en sellos de correos de Estados Unidos, figuró en una serie de la revista *Life* y se reproduce, o se plagia, en todo tipo de parafernalia de dinosaurios. Es la *Mona Lisa* de la paleontología, sin duda, la obra de arte sobre estas criaturas más comentada entre todas las que se han creado. Pero en realidad es más parecido al tapiz de Bayeux, porque cuenta un relato épico de conquista. Es la saga de cómo unos animales pisciformes emergieron, pisaron por primera vez la tierra, colonizaron un nuevo ambiente y se diversificaron en reptiles y anfibios; de cómo, después, estos reptiles se dividieron en los linajes de los mamíferos y los lagartos; del apogeo de los protomamíferos y a continuación de los lagartos, que, en última instancia, darían origen a los dinosaurios.



El terópodo *Deinonychus* monta guardia frente al mural de Zallinger en el Museo Peabody, Universidad de Yale.

Cuando el mural se acerca a su final, a unos treinta metros y 240 millones de años desde donde da comienzo, tras un largo recorrido por paisajes extraños con animales primigenios y escamosos, la pintura acaba repleta de dinosaurios. Esto llena de sorpresa al visitante, pues la transición desde los lagartos y protomamíferos a los dinosaurios se desarrolla gradualmente a lo largo del lienzo. Pasa a haber dinosaurios por todas partes, de todas las formas y tamaños, algunos enormes y otros que se funden con el fondo. De repente, el mural transmite el aura de algo muy diferente, como un póster de propaganda soviética con un Stalin gesticulante ante una muchedumbre de campesinos o uno de esos frescos dedicados a la exaltación propia hasta lo hilarante que había en los palacios de Sadam. Una mirada a los dinosaurios y siento el poder: la fuerza, el control, la dominancia. Los dinosaurios estaban al mando, y este era su mundo.

Esta parte del mural de Zallinger compendia perfectamente la situación cuando los dinosaurios habían ascendido al máximo de su éxito evolutivo. Un *Brontosaurus* monstruoso holgazanea en un pantano en primer término, ramoneando en los helechos y los árboles perennifolios que rodean el agua. A un lado, un *Allosaurus* del tamaño de un autobús desgarra con dientes y garras un cadáver ensangrentado, que pisotea con sus voluminosas patas para mayor insulto. A una distancia segura hay un *Stegosaurus* que pasta en paz y exhibe todo su arsenal de placas y púas óseas por si acaso al carnívoro se le ocurrieran nuevas ideas. Lejos, en segundo término, allí donde el pantano desaparece en un muro de montañas de cumbres nevadas, otro saurópodo emplea su largo cuello para extraer matorrales del suelo. Mientras tanto, dos pterosaurios (aquellos reptiles voladores estrechamente emparentados con los dinosaurios, a los que a menudo se denomina «pterodáctilos») se persiguen entre sí por encima, cayendo y lanzándose por el tranquilo cielo azul.

Lo más probable es que a muchos de nosotros nos venga una imagen parecida cuando pensamos en dinosaurios: la de los dinosaurios en su apogeo.

El mural de Zallinger no es ficción. Como cualquier muestra de buen arte, se toma algunas libertades aquí y allá, pero en gran parte se basa en hechos, en los mismísimos dinosaurios que se hallan frente a él en la Gran Sala, nombres familiares como *Brontosaurus*, *Stegosaurus* o *Allosaurus*, que vivieron durante el Jurásico tardío, hace unos 150 millones de años. Para aquel entonces, estos animales ya se habían convertido en la fuerza dominante en tierra firme. Su victoria sobre los pseudosuquios estaba a 50 millones de años vista desde el espejo retrovisor, y habían pasado sus buenos 20 millones de años desde que algunas de las primeras especies de cuellilargos gigantes chapotearan en las lagunas de Escocia. Ya no había nada que los contuviera.

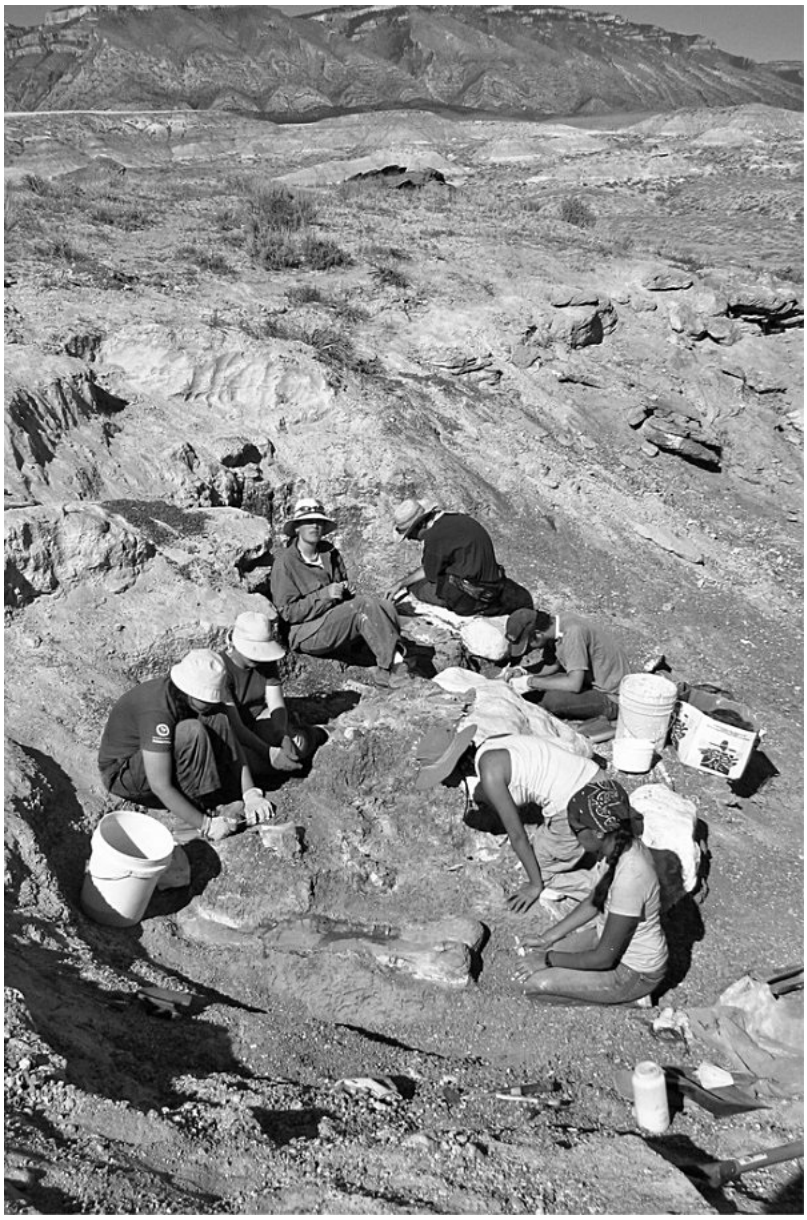
Sabemos mucho acerca de los dinosaurios del Jurásico tardío. Ello se debe a que existen fósiles abundantes de esa época en muchas partes del mundo. Es solo uno de esos caprichos de la geología: algunos periodos están mejor representados que otros en el registro fósil, lo que suele deberse a que durante la época en cuestión se formaron más rocas o a que estas sobrevivieron mejor los rigores de la erosión, las inundaciones, las erupciones volcánicas y todas las demás fuerzas que conspiran para hacer que los fósiles sean difíciles de encontrar. En lo que se refiere al Jurásico tardío, gozamos de dos golpes de suerte. Primero, había comunidades enormemente diversas de dinosaurios que vivían a lo largo de ríos, lagos y mares de todo el mundo; los lugares perfectos para enterrar fósiles en sedimentos que más tarde se transformarían en roca. Segundo, dichas rocas se hallan en la actualidad expuestas en lugares convenientes para los paleontólogos, en regiones secas y con escasa

población de Estados Unidos, China, Portugal y Tanzania, donde molestias como edificios, carreteras, bosques, lagos, ríos u océanos no cubren el botín de fósiles.

Los dinosaurios más famosos del Jurásico tardío (los del mural de Zallinger) proceden de un grueso depósito rocoso que aflora a lo largo de todo el occidente de Estados Unidos. Su término técnico es la formación Morrison, nombre que le viene de una pequeña ciudad en Colorado donde hay magníficos afloramientos de coloridos esquistos y de areniscas de color beige. La formación Morrison es monstruosa; en la actualidad se la puede encontrar en trece estados, y cubre casi un millón de kilómetros cuadrados de las tierras de matorrales estadounidenses. Ha sido fácilmente esculpida en colinas bajas y tierras baldías ondulantes, el tipo de telón de fondo clásico que se suele ver en las películas del Oeste. También es la fuente de roca para algunos de los depósitos de uranio más importantes del país. Y sí, es un semillero de dinosaurios, cuyos huesos empapados de uranio hacen que los contadores Geiger canten.

Cuando estudiaba en la universidad, trabajé en la formación Morrison dos veranos. Allí es donde me curtí en el arte de excavar esqueletos de dinosaurios. Yo estaba como aprendiz en el laboratorio de Paul Sereno, de la Universidad de Chicago, a quien ya hemos conocido como director de las expediciones a Argentina en las que se descubrieron algunos de los dinosaurios más antiguos del mundo, *Herrerasaurus*, *Eoraptor* y *Eodromaeus*, todos del Triásico. Pero Paul parecía estudiarlo todo y hacer trabajo de campo en todas partes; había encontrado unos extraños dinosaurios piscívoros y de cuello largo en África, había explorado China y Australia, e incluso había descrito fósiles importantes de cocodrilos, mamíferos y aves.

Paul Sereno en Wyoming.



Excavando huesos de saurópodo en la formación Morrison cerca de Shell, en Wyoming. En el centro, atrás, está Sara Burch, que posteriormente se convertiría en una experta en los brazos de *T. rex* (véase el capítulo 6).

Además, como todo paleontólogo académico, Paul también tenía que pasar tiempo en el aula. Todos los años impartía una asignatura para estudiantes de grado muy popular, titulada Ciencia de los Dinosaurios, que combinaba la teoría con la práctica. Puesto que no hay manera de encontrar dinosaurios

cerca de Chicago, todos los veranos los alumnos emprendían un viaje de campo de diez días a Wyoming, donde tenían una oportunidad única en la vida para excavar dinosaurios con un científico célebre. Aunque por aquella época yo tenía poca experiencia previa, se me nombró profesor ayudante, la mano derecha de Paul para arrear a los alumnos (un grupo diverso, desde estudiantes de primeros años de medicina hasta de último año de filosofía) por el interior del desierto.

Las localidades de campo de Paul estaban situadas cerca de la aldea de Shell, aislada entre las montañas Bighorn al este y el Parque Nacional de Yellowstone a 150 kilómetros al oeste. En el último censo realizado solo se habían contado 83 personas. Cuando estuvimos en 2005 y 2006, las señales de tráfico indicaban solo 50 residentes. Pero esto es bueno para los paleontólogos. Cuantas menos personas se interpongan en el camino a los fósiles, mejor. Y aunque Shell es un punto poco memorable en el mapa, tiene todo el derecho a considerarse una de las capitales mundiales de los dinosaurios. Está construida sobre la formación Morrison, rodeada de hermosas colinas forjadas en rocas de tenues colores verdes, rojos y grises, rebosantes de dinosaurios. Se han encontrado tantos que es difícil hacer el seguimiento, pero es probable que la cuenta sobrepase en la actualidad los cien esqueletos.

Mientras conducíamos hacia el oeste desde Sheridan por una carretera sorprendentemente traicionera a través de las escarpadas Bighorn, tenía la impresión de hallarnos en la senda de los gigantes. Algunos de los mayores dinosaurios se han encontrado en el área de Shell: saurópodos cuellilargos como *Brontosaurus* y *Brachiosaurus*, y enormes carnívoros, como *Allosaurus*, que se alimentaban de ellos. Pero también sentía que andaba tras los pasos de otro tipo de gigante, los exploradores que encontraron los primeros huesos en esta región a finales del siglo XIX, los ferroviarios y

obreros que iniciaron la fiebre de los dinosaurios y aprovecharon el momento para reinventarse como mercenarios recolectores de fósiles en la nómina de instituciones acaudaladas como la Universidad de Yale. Se trataba de un grupo dispar y desharrapado, rufianes del salvaje Oeste con su sombrero de vaquero, su bigote y su cabello alborotado, que a lo largo de meses interminables extraían huesos gigantescos del terreno, mientras que en el tiempo que les quedaba libre hacían incursiones en las localidades de los demás; y que constantemente peleaban, saboteaban, bebían y la emprendían a tiros. Pero estos personajes improbables revelaron un mundo prehistórico de cuya existencia nadie sabía.

Es probable que las muchas tribus de nativos americanos advirtieran los fósiles de la formación Morrison, pero los primeros huesos registrados los recolectó una expedición de agrimensores en 1859. En marzo de 1877 empezó la auténtica diversión. Un obrero ferroviario llamado William Reed volvía a casa de una caza fructuosa, con el rifle y el cadáver de un antílope americano a cuestas, cuando reparó en unos huesos enormes que sobresalían de un largo risco llamado Como Bluff, no demasiado lejos de la vía férrea, en una extensión anónima del sudeste de Wyoming. Reed no lo sabía, pero, al mismo tiempo, un universitario, Oramel Lucas, encontraba unos huesos similares a unos cuantos cientos de kilómetros al sur, en Garden Park, Colorado. Aquel mismo mes, un maestro llamado Arthur Lakes acababa de encontrar un grupo de fósiles cerca de Denver. A finales de aquel mes de marzo, la fiebre del descubrimiento se extendía por todo el oeste de Estados Unidos, hasta los más remotos pueblos y puestos fronterizos del ferrocarril.

Como cualquier fiebre prospectiva, el frenesí de los dinosaurios atrajo a una horda de personajes de dudosa reputación a las tierras de Wyoming y Colorado. Muchos de estos hombres eran curtidos oportunistas con una misión: convertir los huesos de dinosaurios en dinero contante y sonante. No

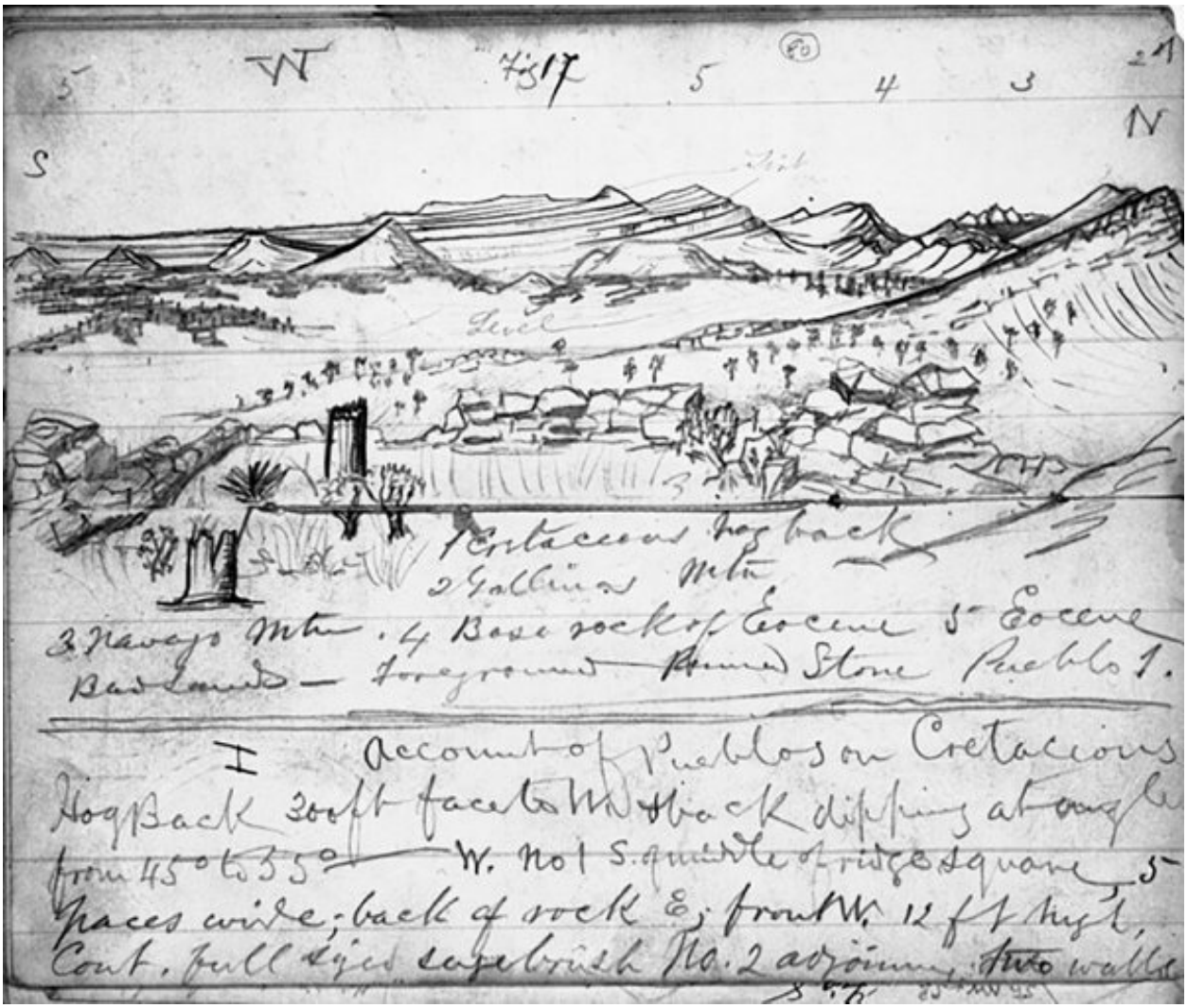
les llevó mucho tiempo darse cuenta de quién pagaba más: dos sofisticados académicos de la Costa Este, Edward Drinker Cope, de Filadelfia, y Othniel Charles Marsh, de la Universidad de Yale, a los que hemos conocido de pasada dos capítulos más atrás, y que estudiaron algunos de los primeros dinosaurios del Triásico que se encontraron en el occidente de Norteamérica. Antiguos amigos, estos dos científicos dejaron que el ego y el orgullo metastatizaran en una enemistad total, tan radiactiva que los llevaba a hacer cualquier cosa para aventajar al otro en una batalla demencial por dar nombre al mayor número de dinosaurios. Cope y Marsh también eran oportunistas, y con cada carta de un peón de rancho o mozo de ferrocarril que les informaba de nuevos huesos de dinosaurios de los yermos de Morrison, veían la oportunidad que habían estado anhelando, pero que todavía no habían conseguido realizar, la ocasión de vencer al otro de una vez por todas. E iban a por ella.

Para Cope y Marsh, el oeste era un campo de batalla; empleaban a equipos rivales que a menudo actuaban más como ejércitos que recogían fósiles allá donde iban y saboteaban al otro bando siempre que podían. Las lealtades eran fluidas. Lucas trabajaba para Cope, y Lakes hacía equipo con Marsh. Reed trabajaba para Marsh, pero algunos miembros de su equipo desertaron en favor de Cope. Las reglas del juego eran saquear, robar furtivamente y sobornar. La locura continuó durante casi una década y, cuando terminó, se hacía difícil distinguir a los vencedores de los vencidos. En el lado positivo, la llamada guerra de los Huesos condujo al descubrimiento de algunos de los dinosaurios más célebres, los que salen de la lengua de todo escolar: *Allosaurus*, *Apatosaurus*, *Brontosaurus*, *Ceratosaurus*, *Diplodocus*, *Stegosaurus*, por nombrar solo algunos. Por otro lado, la mentalidad de guerra constante causó muchas imprecisiones, como fósiles excavados de forma descuidada y estudiados a toda prisa, pedazos de hueso bautizados

equivocadamente como nuevas especies o diferentes fragmentos del esqueleto del mismo dinosaurio considerados como pertenecientes a animales totalmente diferentes.

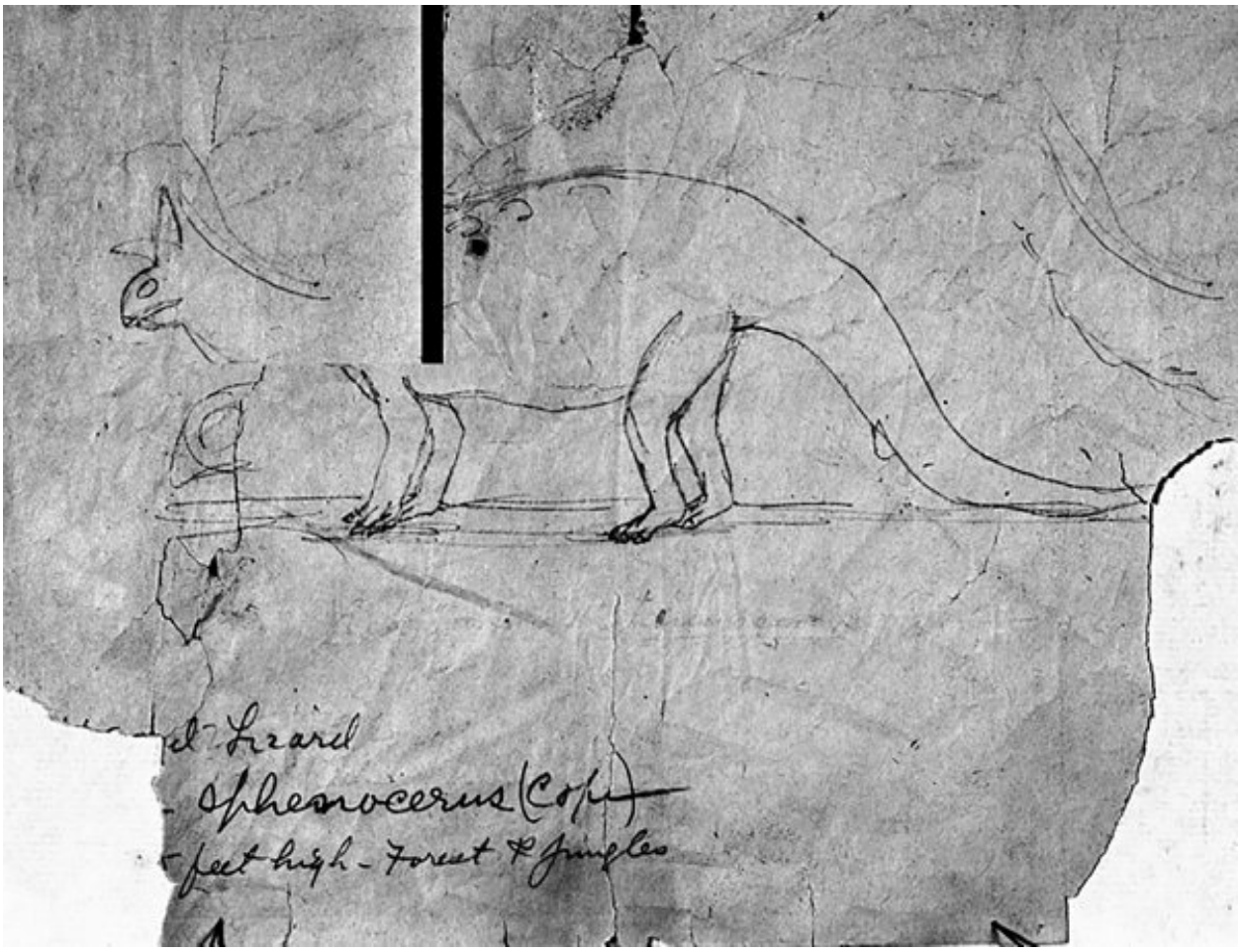
Edward Drinker Cope, protagonista de la guerra de los Huesos. *Museo Americano de Historia Natural.*

Imagen #238372, Biblioteca del Museo Americano de Historia Natural



Una página del cuaderno de campo de Cope de 1874, donde se ilustran las rocas ricas en fósiles de Nuevo México. *Museo Americano de Historia Natural.*

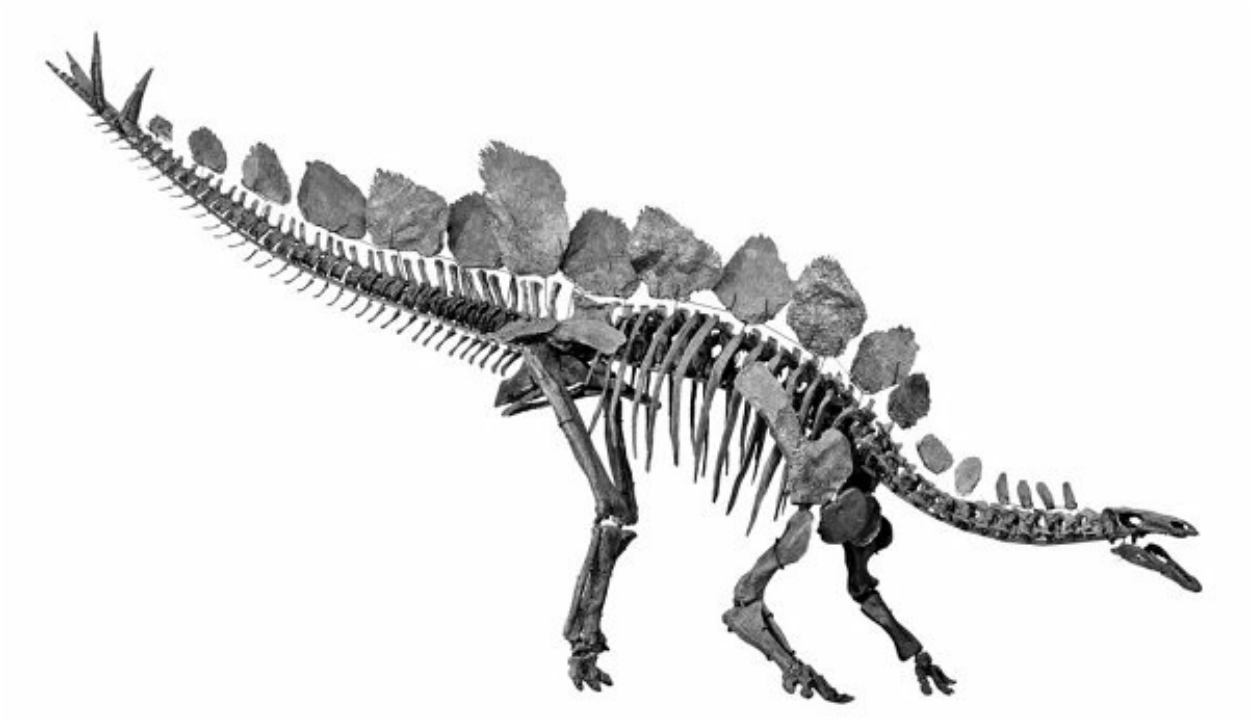
Imagen #328221, Biblioteca del Museo Americano de Historia Natural



Esbozo de Cope de un dinosaurio cornudo (ceratópsido), de 1889, una muestra de cómo consideraba a los dinosaurios animales vivos. (Fue mucho mejor científico que artista.) *Museo Americano de Historia Natural.*

Imagen #312963, Biblioteca del Museo Americano de Historia Natural

El rival de Cope en la guerra de los Huesos, Othniel Charles Marsh (en el centro de la fila posterior), y su equipo de estudiantes voluntarios en su expedición de 1872 al oeste de Estados Unidos. *Cortesía del Museo Peabody de Historia Natural, Universidad de Yale.*



Stegosaurus, uno de los dinosaurios más famosos descubiertos en la formación Morrison durante el periodo de la guerra de los Huesos. Esqueleto que se exhibe en el Museo de Historia Natural de Londres. *PLoS ONE.*

Publicado en Maidment et al., *PLoS ONE*, 2015, 10 (10): e0138352

Las guerras no pueden durar para siempre, y cuando el siglo XIX dio paso al XX, empezó a asentarse la cordura. Todavía se encontraban dinosaurios nuevos en todo el oeste de Estados Unidos, y la mayoría de los principales museos de historia natural del país y varias universidades punteras tenían equipos que trabajaban en algún lugar de la formación Morrison, pero el caos de la fiebre de los dinosaurios había terminado. Con menos turbulencia se hicieron algunos descubrimientos importantes, como un cementerio con más de ciento veinte especímenes cerca de la frontera entre Colorado y Utah, que más tarde se convertiría en el Monumento Nacional de los Dinosaurios; un pozo con más de diez mil huesos, la mayoría pertenecientes al superdepredador *Allosaurus*, al sur de Price, en Utah, bautizado como cantera

de dinosaurios Cleveland-Lloyd; un campo de huesos en el mango de Oklahoma, descubierto por una patrulla de peones camineros y excavado por un equipo de obreros que habían perdido el empleo durante la Gran Depresión, a los que se contrató para este trabajo con dinero procedente del New Deal de Roosevelt; así como la localidad cerca de Shell en la que Paul Sereno trabajaba en ese momento, con mi ayuda y la de una falange de estudiantes de grado, que pagaban una matrícula considerable por el privilegio.

Paul ha descubierto una cantidad importante de localidades de dinosaurios en todo el mundo, pero la cantera cercana a Shell no es una de ellas. Fue una recolectora de rocas local la que informó de los primeros huesos encontrados en el área. En 1932 se lo mencionó a Barnum Brown, un paleontólogo de Nueva York que pasaba por la ciudad. Volveremos a encontrar a Brown en el capítulo siguiente, porque muy al principio de su carrera descubrió *Tyrannosaurus rex*. A Brown lo intrigó el relato de la recolectora de rocas y la siguió hasta el solitario rancho de un octogenario llamado Barker Howe, rodeado de colinas llenas de olorosa salvia, acechado por leones de montaña y colmado de antílopes americanos que daban cuenta de los pastos. A Brown le gustó lo que vio y permaneció allí toda la semana. Lo que encontró fue lo bastante prometedor para convencer a Sinclair Oil de financiar una campaña a gran escala en el verano de 1934 para excavar lo que ahora se conoce como cantera Howe.

Resultó ser una de las excavaciones de dinosaurios más fantásticas de todos los tiempos. Cuando el equipo de Brown empezó a excavar, encontró esqueletos en todas partes, amontonados unos encima de otros y extendidos hacia todas direcciones. Más de veinte esqueletos y cuatro mil huesos en total, que cubrían unos doscientos ochenta metros cuadrados, más o menos el equivalente de una cancha de baloncesto. Había tanto material fósil en bruto

que hicieron falta seis meses de trabajo diario para excavarlo; el equipo no se marchó del lugar hasta mediados de noviembre, después de soportar dos meses de intensas nevadas. Los excavadores encontraron todo un ecosistema conservado en piedra; había gigantescos herbívoros cuellilargos como *Diplodocus* y *Barosaurus*, enmarañados con *Allosaurus* de aguzados dientes y otros herbívoros más pequeños que se desplazaban sobre dos patas, llamados *Camptosaurus.* Algo horrible había ocurrido allí hace unos 155 millones de años. A juzgar por los ángulos retorcidos de sus esqueletos, la muerte de estos animales no fue rápida ni indolora. Algunos saurópodos se encontraron erguidos, con las pesadas patas erectas como columnas atascadas en el antiguo fango. Parece que estos dinosaurios sobrevivieron a una inundación, pero después quedaron atrapados en el lodazal cuando trataron de huir al retirarse las aguas.

Brown estaba encantado. Dijo que el lugar era «un tesoro absoluto y sensacional» y, lleno de alegría, se llevó un cargamento de dinosaurios de vuelta a Nueva York, donde se convirtieron en las joyas de la corona en la colección del Museo Americano de Historia Natural. Y después, durante muchas décadas, la cantera Howe permaneció inactiva, hasta que un buscador de fósiles suizo llamado Kirby Siber apareció por Wyoming a finales de la década de 1980.

Siber es un paleontólogo comercial: extrae dinosaurios y los vende. Se trata de una cuestión espinosa para muchos paleontólogos académicos como yo, que consideramos que los fósiles son un patrimonio natural insustituible que debería estar protegido en los museos, donde es posible estudiarlos y el público puede disfrutar de ellos, y no vendidos al mejor postor. Pero existe todo un espectro de paleontólogos comerciales, que va desde criminales armados que exportan fósiles de manera ilegal hasta recolectores diligentes, escrupulosos y bien formados cuyos conocimientos y experiencia rivalizan

con los de los académicos. Siber pertenece a esta última categoría. De hecho, es su arquetipo. Los investigadores lo respetan e incluso fundó su propio museo al este de Zúrich, el Sauriermuseum, que posee una de las exposiciones de dinosaurios más notables de Europa.

Siber accedió a la vieja cantera Howe, pero no encontró muchos dinosaurios. El equipo de Brown los había extraído prácticamente todos. De modo que el recolector suizo empezó a prospectar en los barrancos y colinas de los alrededores en busca de nuevas localidades. No pasó mucho tiempo antes de que encontrara una, a unos trescientos metros al norte de la cantera original. Primero, la retroexcavadora dejó al descubierto algunos huesos de saurópodos, y después una ristra de vértebras de la columna de un terópodo carnívoro grande. Siber siguió los huesos en forma de bobina, uno por uno, y no tardó en darse cuenta de que tenía algo especial: el esqueleto casi completo de un *Allosaurus*, el depredador culminal del ecosistema de la formación Morrison. Parecía ser el mejor fósil individual de este dinosaurio bien conocido que se hubiera encontrado nunca, más de ciento veinte años después de que Marsh le diera nombre durante el acaloramiento de la guerra de los Huesos.

Allosaurus fue el carnicero del Jurásico, tanto de manera figurada como literal. Este feroz depredador acechaba las llanuras de inundación y las riberas fluviales de la formación Morrison; era algo así como un *Tyrannosaurus rex*, pero algo más pequeño y ligero, con un peso de entre dos toneladas y dos toneladas y media, una longitud de nueve metros en la edad adulta, y mejor equipado para correr. Se ganó de verdad el título de «carnicero», porque los paleontólogos creen que usaba la cabeza como un hacha para golpear a su presa hasta matarla. Los modelos informáticos encuentran que los delgados dientes de *Allosaurus* no podían morder con mucha fuerza, pero que el cráneo podía soportar cantidades importantes de

fuerza de impacto. También sabemos que podía abrir las fauces de manera extraordinaria, de modo que pensamos que cuando estaba hambriento debía de atacar con la boca muy abierta y acuchillar a la presa, cortando la piel y los músculos con esos dientes finos pero aguzados, que se disponían a lo largo de las mandíbulas como las hojas de unas tijeras. Probablemente muchos *Stegosaurus* y *Brontosaurus* emitieron el último aliento así. Si por alguna razón el *Allosaurus* sediento de sangre no podía matar a la víctima utilizando solo sus mandíbulas mortíferas, siempre podía rematar la tarea con un par de trompadas de sus brazos de tres dedos con garras, que eran más largos y más versátiles que las regordetas extremidades anteriores de *T. rex*.

Encontrar un *Allosaurus* tan completo y bien conservado fue uno de los grandes momentos de la carrera de Siber, pero la emoción iba a desvanecerse muy pronto. Una vez que hubo terminado la excavación estival, mientras se encontraba en una exposición de fósiles para vender sus mercancías (el esqueleto de *Allosaurus* permanecía en el terreno), un agente de la Agencia de Administración de Tierras (BLM) de Estados Unidos volaba sobre aquel polvoriento trecho del norte de Wyoming, cerca de la cantera Howe. El agente vigilaba por si había señales de incendios, como parte del trabajo de supervisión de los terrenos públicos bajo la administración del Gobierno de Estados Unidos. Pero mientras planeaba sobre los yermos, se dio cuenta de que las pistas de tierra de la cantera Howe estaban entrecruzadas por marcas de neumáticos. Alguien había estado haciendo trabajo pesado aquel verano. No era un problema en la cantera Howe propiamente dicha, puesto que se halla en terreno privado y Siber tenía el permiso del propietario. Pero el agente de la BLM no estaba del todo seguro de qué terrenos eran privados y cuáles públicos, en los que solo pueden trabajar científicos acreditados con permiso de la agencia. De modo que volvió a comprobarlo y encontró que Siber se había adentrado unas pocas decenas de metros en terreno de la BLM.

Puesto que no tenía derecho a trabajar allí, ya no podía excavar el esqueleto de *Allosaurus*. Es probable que fuera un error sin mala intención, pero tuvo un alto precio.

Ahora la BLM tenía un problema. Un magnífico esqueleto de dinosaurio se hallaba sobre el terreno, y quienes lo habían encontrado y habían empezado a excavarlo no podían terminar la tarea. De modo que la agencia reunió un equipo de expertos dirigido por el legendario paleontólogo Jack Horner, del Museo de las Rocosas de Montana. Horner es más conocido por otras dos cosas: por descubrir los primeros lugares de anidación de dinosaurios en la década de 1970, y por ser el asesor científico de las películas de *Jurassic Park*. Bajo el ojo de las cámaras de televisión y un hervidero de reporteros, los académicos extrajeron el esqueleto y lo transportaron en camión hasta Montana para conservarlo con cuidado en la seguridad del laboratorio. Resultó que el dinosaurio era más espectacular incluso de lo que Siber había imaginado. Se hallaba presente casi el 95 por ciento de los huesos, una proporción casi inaudita para un gran depredador. Este *Allosaurus*, de unos ocho metros de longitud, había alcanzado solo entre el 60 y el 70 por ciento de su tamaño potencial. Era todavía un adolescente, pero ya había conocido una vida dura. Tenía el cuerpo cubierto por todo tipo de dolencias: huesos rotos, infectados y deformes que atestiguaban el mundo agresivo del Jurásico tardío, en el que incluso los mayores depredadores lo tenían difícil para cazar a leviatanes como *Diplodocus* y *Brontosaurus*, y los dientes y garras más aguzados no eran garantía de supervivencia ante el golpe de la espinosa cola de un *Stegosaurus*.

Allosaurus recibió el apodo de Big Al y se convirtió en un dinosaurio célebre. Incluso tuvo su propio programa de televisión, emitido internacionalmente por la BBC. Pero una vez pasado el alboroto, quedaba un enorme agujero en el suelo, lleno de todo tipo de fósiles, enterrados bajo el

lugar donde se había encontrado a Big Al. Paul Sereno había obtenido el permiso de la BLM para utilizar el sitio como laboratorio de campo en el que enseñar técnicas de excavación a sus alumnos, y por eso nos dirigíamos hacia allí con tres grandes SUV llenos de universitarios.

Durante aquella primera temporada en Wyoming, en el verano de 2005, pasé varios días plantado en pleno desierto, extrayendo minuciosamente pegotes de pizarra con forma de palomitas de maíz para ayudar al equipo a destapar el esqueleto de un *Camarasaurus*. Puede que no se trate de un dinosaurio de marca, pero es una de las especies más comunes en la formación Morrison. Es otro tipo de saurópodo, un primo cercano de *Brontosaurus*, *Brachiosaurus* y *Diplodocus*. *Camarasaurus* poseía el cuerpo usual de un saurópodo, con un largo cuello que podía alcanzar una altura de varios pisos para llegar a los árboles, una cabeza pequeña con dientes en forma de cincel para arrancar las hojas, una complexión voluminosa, de unos quince metros de longitud y un peso de alrededor de veinte toneladas. Probablemente Big Al y el resto de *Allosaurus* adoraban comerse a este tipo de engullidor de sabrosas plantas, aunque su peculiar tamaño debía de proporcionarle una protección considerable incluso ante los carnívoros más escalofriantes. Quizá fue un *Camarasaurus* como ese el que infligió a Big Al alguna de sus feas heridas.

Cráneos de *Diplodocus* (izquierda) y *Camarasaurus* (derecha), dos saurópodos que empleaban su cráneo y dientes de formas diferentes para alimentarse de distintos tipos de plantas. *Cortesía de Larry Witmer.*

Camarasaurus es uno de los muchos saurópodos enormes que se han encontrado en la formación Morrison. Junto con él se cuentan sus famosos tres grandes primos, *Brontosaurus*, *Brachiosaurus* y *Diplodocus*. Después están los figurantes que han pasado más desapercibidos, a los que solo conocen los entendidos (o, quizá, esos chiquillos obsesionados por los dinosaurios), como *Apatosaurus* o *Barosaurus* y, situados más abajo de la lista, *Galeamopus*, *Kaatedocus*, *Dyslocosaurus*, *Haplocanthosaurus* o *Suuwassea*. Existen otros tantos saurópodos que han recibido nombre sobre la base de huesos incompletos, que pueden pertenecer incluso a más especies. Ahora bien, la formación Morrison cubre una franja temporal amplia, y se depositó sobre un área geográfica enorme. No todos estos saurópodos vivían juntos. Pero sí lo hicieron muchos de ellos: se han encontrado en las mismas localidades, con sus esqueletos entremezclados. La situación normal en el mundo de la formación Morrison era la cohabitación de numerosas variedades de saurópodos en los valles fluviales, y sus graves pisadas retumbaban mientras recorrían la tierra en busca de las decenas de kilogramos de hojas y ramitas diarias que los sustentaban.

¡Qué escena tan extraña de evocar! Es equivalente a imaginar cinco o seis especies diferentes de elefantes hacinadas en la sabana africana, todas ellas intentando encontrar comida suficiente para sobrevivir mientras que los leones y las hienas acechan en segundo plano. El mundo de la formación Morrison no era menos peligroso. Si un saurópodo se tambaleaba con el estómago vacío, entonces se podría apostar con seguridad que un *Allosaurus* estaba escondido en la maleza, listo para saltar sobre el cuellilargo, aprovechando su momento de debilidad.

Había otros muchos depredadores por debajo de *Allosaurus* en la cadena trófica. Estaban *Ceratosaurus*, un cazador de seis metros de largo ubicado en el nivel intermedio, con un cuerno terrorífico en el hocico; un carnívoro del tamaño de un caballo llamado *Marshosaurus* por el púgil de la guerra de los Huesos; y un primo primitivo de *T. rex*, del tamaño de un asno, llamado *Stokesosaurus*. Después estaban los acuchilladores, varias alimañas de constitución grácil, corredores céleres como *Coelurus*, *Ornitholestes* y *Tanycolagreus*, la versión de los guepardos de la formación Morrison. Y todos estos devoradores de carne, incluso *Allosaurus*, vivían probablemente amedrentados por otro monstruo que reinaba cerca de la cima de la cadena trófica. Se llama *Torvosaurus*, y no sabemos gran cosa de él, porque sus fósiles son muy raros. Pero los huesos que poseemos pintan un cuadro terrorífico, el de un depredador culminal con dientes en forma de cuchillo, diez metros de largo y un peso de unas dos toneladas y media, o quizá más, proporciones no muy alejadas de las de algunos de los grandes tiranosaurios que surgirían más tarde por evolución.

Es fácil comprender por qué había tantos depredadores que deambulaban por el ecosistema de Morrison: había muchísimos saurópodos para comer. Es mucho más difícil explicar cómo es posible que tantos de estos saurópodos gigantes vivieran juntos. Se trata de un enigma todavía mayor por cuanto también había muchos otros herbívoros, más pequeños, que se alimentaban de matorrales de poca altura sobre el suelo, como *Stegosaurus* y *Hesperosaurus*, de dorso con placas; los anquilosaurios de aspecto de tanque *Mymoorapelta* y *Gargoyleosaurus*; el ornitisquio *Camptosaurus*, y todo un zoológico de comedores de helechos, pequeños y de carrera rápida, como *Drinker*, *Othnielia*, *Othnielosaurus* o *Dryosaurus*. Los saurópodos compartían también el espacio con todos estos herbívoros.

Así pues, ¿cómo lo hicieron los saurópodos? Resulta que la diversidad fue

la clave para el éxito. Sí, había muchas especies de saurópodos, pero todas eran algo diferentes. Algunas eran colosos absolutos; *Brachiosaurus* se situaba cerca de las cincuenta y cinco toneladas, y *Brontosaurus* y *Apatosaurus* inclinaban la balanza en la gama de las treinta a las cuarenta toneladas. Pero otras eran de menor tamaño, como *Diplodocus* y *Barosaurus*, pequeños y flacuchos, al menos para un saurópodo, y solo pesaban entre diez y quince toneladas. De modo que ni que decir tiene que algunas especies necesitarían más alimento que otras. Estos saurópodos también tenían tipos diferentes de cuello; el de *Brachiosaurus* se arqueaba orgullosamente en el cielo, con el perfil erecto de una jirafa, perfecto para alcanzar las hojas más altas, pero *Diplodocus* quizá no pudo elevar el cuello mucho más allá de la altura de los hombros, y quizá se comportase más como una aspiradora que succionara los árboles más bajos y los matorrales. Por último, la cabeza y los dientes de estos saurópodos también diferían. *Brachiosaurus* y *Camarasaurus* poseían un cráneo alto y envuelto en músculos, y unas mandíbulas tapizadas de dientes en forma de espátula, de modo que podían comer alimentos más duros, como ramitas gruesas y hojas cerosas. Pero la cabeza de *Diplodocus* era larga y estaba constituida por huesos delicados, con una fila de dientes minúsculos en forma de pincel en la parte anterior del hocico. Los dientes se le romperían si intentaba comer algo demasiado duro. En lugar de ello, se dedicaba a arrancar las hojas más pequeñas de las ramas, y movía la cabeza hacia delante y hacia atrás como un rastrillo.

Las diferentes especies de saurópodos estaban especializadas para comer varios tipos de alimentos distintos, y tenían mucho donde escoger, pues los frondosos bosques del Jurásico estaban abarrotados de coníferas altísimas, con un sotobosque de helechos, cicas y otros matorrales. Los saurópodos no competían por las mismas plantas, sino que se repartían los recursos. El término científico para ello es «partición del nicho»: cuando especies que

coexisten evitan competir entre ellas al comportarse o alimentarse de maneras algo diferentes. El mundo de la formación Morrison estaba muy compartimentado, señal de lo muy exitosos que eran estos dinosaurios. Se repartían casi cada centímetro cuadrado del ecosistema, un conjunto apabullante de especies que medraban unas junto a otras en los cálidos, húmedos y encharcados bosques y llanuras costeras de la antigua Norteamérica.

Pero ¿qué pasaba con los dinosaurios del Jurásico tardío en otras partes del mundo? El relato parece ser el mismo casi en todos los lugares a los que dirijamos la vista. En estos otros lugares con abundante registro fósil del Jurásico tardío, como China, África Oriental y Portugal, vemos también un elenco similar de saurópodos diversos, estegosaurios herbívoros de menor tamaño y carnívoros de pequeña y gran envergadura, del molde de *Ceratosaurus* y *Allosaurus*.

Todo se reduce a la geografía. Pangea había empezado a dividirse muchos millones de años antes, pero hace falta mucho tiempo para que un supercontinente se fragmente. Las masas continentales solo pueden desplazarse unas con respecto a otras unos pocos centímetros cada año, un ritmo parecido al del crecimiento de nuestras uñas. Así, aún había grandes conexiones terrestres entre la mayoría de las partes del mundo, que persistieron hasta el final mismo del Jurásico. Europa y Asia todavía estaban pegadas la una a la otra, y estaban conectadas a Norteamérica por una serie de islas que un dinosaurio podía atravesar fácilmente en una excursión. Este territorio septentrional, llamado Laurasia, estaba empezando a separarse del Pangea meridional, llamado Gondwana, una mezcolanza de Australia, la Antártida, África, Sudamérica, India y Madagascar. Laurasia y Gondwana se conectaban de forma intermitente por puentes continentales cuando bajaba el nivel del mar; e incluso durante épocas de aguas más altas, otras islas

proporcionaron una ruta migratoria conveniente entre el norte y el sur.

Así pues, el Jurásico tardío fue una época de uniformidad global. El mismo conjunto de dinosaurios domeñaba cualquier rincón del globo. Los majestuosos saurópodos se repartían la comida, y presentaban un máximo de diversidad que no tenía parangón con ningún otro grupo de grandes herbívoros en la historia de la Tierra. Otros más pequeños prosperaban a su sombra, y un equipo variopinto de carnívoros sacaba partido de toda esa carne. Algunos, como *Allosaurus* y *Torvosaurus*, fueron los primeros terópodos realmente gigantescos. Otros, como *Ornitholestes*, fueron los miembros fundadores de la dinastía que al final daría lugar a V*elociraptor* y a las aves. El planeta se achicharraba y los dinosaurios podían desplazarse adonde quisieran. Así era el auténtico Parque Jurásico.

Hace 145 millones de años, el periodo Jurásico efectuó la transición hacia la fase final de la evolución de los dinosaurios, el periodo Cretácico. A veces, el paso de un periodo geológico a otro ocurre de una plumada, como cuando los megavolcanes dieron fin al Triásico. Otras veces, apenas es algo perceptible, y es más cuestión de contabilidad científica, una manera de que los geólogos dividan largos periodos de tiempo sin ningún cambio o catástrofe importantes. La transición del Jurásico al Cretácico sería una frontera de ese tipo. No hubo ninguna calamidad, como el impacto de un asteroide o una gran erupción, que diera fin al Jurásico, ninguna extinción súbita de plantas ni animales, ningún maravilloso nuevo mundo en el amanecer del Cretácico. Más bien, el reloj seguía su marcha, y los diversos ecosistemas jurásicos de saurópodos gigantescos, dinosaurios de dorso cubierto de placas y carnívoros tanto pequeños como monstruosos tuvieron continuidad en el Cretácico.

Sin embargo, esto no quiere decir que no hubiese cambiado nada, porque

ocurrieron muchas cosas en la Tierra en el límite entre el Jurásico y el Cretácico; no fueron cambios apocalípticos, sino cambios más lentos en los continentes, los océanos y el clima, que tuvieron lugar a lo largo de unos 25 millones de años. El mundo de invernadero del Jurásico tardío fue interrumpido por un repentino descenso de las temperaturas, seguido de un retorno a condiciones más áridas, antes de que las cosas volvieran a la normalidad en el Cretácico temprano. Los niveles del mar empezaron a decrecer durante la parte final del Jurásico tardío y permanecieron bajos en el linde entre los dos periodos, hasta que las aguas empezaron a subir de nuevo hacia unos diez millones de años ya entrado el Cretácico. Hasta entonces, hubo mucho más territorio emergido, lo que permitió que los dinosaurios y otros animales se desplazaran aún con mayor facilidad que durante el Jurásico tardío. Pangea continuó rompiéndose, y los fragmentos de los supercontinentes se apartaban cada vez más unos de otros a medida que pasaba el tiempo. Gondwana, aquella enorme extensión de tierras australes, empezó en última instancia a dividirse, y las grietas comenzaron a definir las formas de los continentes actuales del hemisferio sur. Primero, la masa conjunta de África y Sudamérica se separó de la sección de Gondwana que contenía la Antártida y Australia, y después este otro gran pedazo comenzó también a fracturarse. A través de las fisuras surgieron volcanes, y aunque ninguno llegaba a la escala de las erupciones monstruosas del final del Pérmico o del Triásico, habrían aportado el mismo guiso desagradable de lava y gases, con igual capacidad para envenenar el ambiente.

Ninguno de estos cambios fue particularmente mortífero por sí mismo, pero todos juntos supusieron un insidioso cóctel de peligros. Los cambios de temperatura y del nivel del mar a largo plazo fueron probablemente imperceptibles para los dinosaurios; es de algo que ni ellos ni ninguno de nosotros, si hubiéramos estado allí, hubiéramos advertido a lo largo de una

vida. Además, en el mundo de «dinosaurio come dinosaurio» del Jurásico tardío y del Cretácico temprano, los *Brontosaurus* y los *Allosaurus* tenían cosas más importantes de las que ocuparse que de pequeños cambios en la línea de marea o de que los inviernos fuesen algo más fríos. Pero, con el tiempo, estos cambios se acentuaron y se convirtieron en asesinos silenciosos.

Hace unos 125 millones de años, unos 20 millones de años después del final del Jurásico, había surgido un nuevo mundo cretácico, gobernado por un conjunto diferente de dinosaurios. El cambio más evidente tuvo que ver con los dinosaurios más prominentes: los saurópodos colosales. Antaño tan diversos en los ecosistemas de la formación Morrison del Jurásico tardío, los cuellilargos padecieron una crisis en el Cretácico temprano. Casi todas las especies familiares como *Brontosaurus*, *Diplodocus* y *Brachiosaurus* se extinguieron, mientras que un nuevo subgrupo, el de los titanosaurios, empezó a proliferar y acabó evolucionando en supergigantes como *Argentinosaurus*, del Cretácico medio, que con más de treinta metros de largo y cincuenta toneladas de peso fue el mayor animal conocido que haya vivido en suelo firme. Pero, a pesar de los tamaños disparatados de las nuevas especies del Cretácico, los saurópodos no volverían a dominar jamás como lo habían hecho en el Jurásico tardío; no se volvería a hacer alarde de esa variedad de cuellos, cráneos y dientes que les había permitido explotar tantos nichos ecológicos.

Mientras los saurópodos sufrían, los herbívoros ornitisquios, de menor tamaño, prosperaban hasta convertirse en ubicuos herbívoros de tamaño medio que habitaban ecosistemas de todo el mundo. El más famoso de ellos es seguramente *Iguanodon*, uno de los primeros fósiles al que se llamó «dinosaurio», después de ser descubierto en la década de 1820 en Inglaterra. *Iguanodon* tenía unos diez metros y pesaba unas pocas toneladas. Poseía un

pincho en su pulgar para defenderse, así como un pico en la parte anterior de la boca para cortar plantas, y podía pasar de andar a cuatro patas a correr sobre las posteriores. De su linaje acabarían surgiendo los hadrosaurios, o dinosaurios de pico de pato, el grupo de herbívoros asombrosamente exitoso que progresó al final mismo del Cretácico, junto con su némesis, *Tyrannosaurus rex*. Esto ocurriría muchas decenas de millones de años en el futuro, pero las semillas se plantaron en el Cretácico temprano.

Mientras que los iguanodontes ocupaban el papel de los saurópodos más pequeños, también había cambios en marcha entre los herbívoros que comían en el suelo. Los estegosaurios de grandes placas dorsales entraron en un declive a largo plazo y se fueron reduciendo gradualmente hasta que las últimas especies supervivientes sucumbieron a la extinción en algún momento del Cretácico temprano, con lo que este grupo icónico se apagó de una vez por todas. Los anquilosaurios vinieron a reemplazarlos, unos extraños animales cuyo esqueleto estaba cubierto de placas acorazadas, como un Panzer reptiliano. Se habían originado en el Jurásico y permanecieron como suplentes marginales en la mayoría de los ecosistemas, pero su diversidad explotó al reducirse los estegosaurios. Los anquilosaurios se encontraban entre los dinosaurios más lentos y estúpidos de todos, pero pasaban la vida sin mayor problema, mordisqueando helechos y otra vegetación baja, mientras que su armadura corporal los hacía inmunes a los ataques. Ni el depredador con los dientes más aguzados podía obtener un buen bocado cuando se trataba de morder a través de varios centímetros de sólido hueso.

Después estaban los carnívoros. Al pasarles tantas cosas a sus presas herbívoras, no es ninguna sorpresa que los terópodos vivieran su propio drama cuando el Jurásico dio paso al Cretácico. Aumentó la diversidad de pequeños carnívoros, y algunos de ellos empezaron a experimentar con dietas

extrañas, cambiando la carne por nueces, semillas, insectos o marisco. Incluso hubo un grupo, los terizinosaurios, con garras en forma de hoz, que se hizo completamente vegetariano. En el otro extremo del espectro de tamaños, un extraño clan de grandes terópodos, los espinosáuridos, desarrolló por evolución unas velas dorsales y un largo hocico lleno de dientes coniformes, penetró en el agua, comenzó a comportarse como los cocodrilos y a comer peces.

Sin embargo, como suele ser el caso cuando se trata de terópodos, la trama más fascinante tiene que ver con los depredadores culminales. Al igual que sus hermanos más pequeños, los supercarnívoros situados en la cumbre de la cadena trófica experimentaron un enorme trastorno en la frontera entre el Jurásico y el Cretácico. Estas especies se encuentran entre mis favoritas, porque los primeros dinosaurios que estudié (como universitario a las órdenes de Paul Sereno, durante los mismos veranos en que excavamos saurópodos del Jurásico tardío en Wyoming) eran terópodos gigantes del Cretácico temprano de África.

De adolescente veía películas, escuchaba música e iba a partidos de béisbol, es decir, lo normal; pero mi héroe no era ningún atleta ni ningún actor: era un paleontólogo, Paul Sereno, el explorador residente de la Sociedad Geográfica Nacional, extraordinario cazador de dinosaurios y una de las 50 Personas Más Guapas de la revista *People*, en el número en que Tom Cruise apareció en la portada. Yo era un estudiante de instituto obsesionado con los dinosaurios, y seguía el trabajo de Paul Sereno como si fuera un fanático de una estrella del rock. Sereno enseñaba en la Universidad de Chicago, no muy lejos de donde yo vivía, y había crecido en Naperville, Illinois, un barrio residencial del que procedían algunos primos míos. Era un chico del lugar

que había triunfado, que se había convertido en un científico y aventurero de fama, y yo quería ser como él.

Conocí a mi héroe a los quince años, cuando él dio una conferencia en un museo local. Estoy seguro de que Paul estaba acostumbrado a encontrarse con admiradores, pero yo superé el nivel habitual de rareza al ponerle en la cara un gran sobre, tan lleno de fotocopias de páginas de revistas que no se podía cerrar. En fin, por aquella época también era un periodista en ciernes, o al menos pensaba que lo era, y escribía muchos artículos para revistas y sitios web de aficionados a la paleontología a un ritmo que rozaba la locura. Muchos de esos artículos eran sobre Paul y sus descubrimientos, y quería que viera lo que había escrito sobre él. Se me quebró la voz cuando le di el sobre. Fue embarazoso, pero él se mostró muy amable conmigo aquella tarde y, después de una larga charla, me dijo que me mantuviera en contacto. Coincidí con él algunas veces más en los dos años siguientes. Intercambiamos muchos mensajes electrónicos y, cuando decidí dejar de lado el periodismo y sumergirme en la paleontología como carrera, solo había una facultad a la que quisiera ir, la de la Universidad de Chicago, porque así podría aprender con Paul.

Chicago aceptó mi solicitud, y me matriculé en el otoño de 2002. Durante la semana dedicada a los recién llegados, me encontré con Paul y le supliqué que me dejara trabajar en su laboratorio de fósiles en el sótano, donde se ponían al descubierto los tesoros recién traídos de África o de China, dinosaurios completamente nuevos que se hacían patentes a medida que se iban eliminando los granos de arena de los huesos. Estaba dispuesto a hacer cualquier cosa, incluso fregar el suelo o limpiar los estantes. Por suerte, Paul dirigió mi entusiasmo hacia otros menesteres. Empezó enseñándome a conservar y catalogar fósiles, y de repente un día tenía una sorpresa para mí. «¿Qué te parecería describir una nueva especie de dinosaurio?», me dijo

mientras me conducía a una hilera de armarios.

Ante mí, en un cajón tras otro, se iban desplegando los fósiles de dinosaurios del Cretácico temprano al Cretácico medio que Paul y su equipo habían traído recientemente desde el desierto del Sáhara. Hacía alrededor de una década, tras concluir aquellas expediciones absolutamente exitosas en Argentina en las que se habían hecho con los dinosaurios primitivos *Herrerasaurus* y *Eoraptor*, Paul había dirigido la atención al norte de África. Por aquella época se sabía muy poco acerca de los dinosaurios africanos. En una serie de expediciones dirigidas por europeos durante el periodo colonial se habían encontrado algunos fósiles intrigantes en lugares como Tanzania, Egipto y Níger, pero una vez que se marcharon los colonizadores, también desapareció la mayor parte del interés por buscar dinosaurios. Y no solo eso, sino que algunas de las colecciones africanas más importantes, reunidas por el aristócrata alemán Ernst Stromer von Reichenbach, con rocas de Egipto del Cretácico temprano al Cretácico tardío, ya no estaban allí. Por desgracia se conservaban en un museo a solo algunas manzanas de los cuarteles nazis de Múnich, y fueron destruidas por un bombardeo aliado en 1944.

Cuando Paul se fijó en África, todo lo que tenía para empezar eran algunas fotografías, unos pocos informes publicados y una pequeña cantidad de huesos que aún se conservaban en aquellos museos europeos que no habían sido bombardeados durante la guerra. Pero esto no lo detuvo. Organizó una expedición de reconocimiento a Níger, en el corazón del Sáhara, en 1990. El equipo encontró tantos fósiles que volvieron de nuevo en 1993, en 1997 y varias otras veces después. Eran viajes arduos: expediciones al estilo de Indiana Jones, que a veces duraban varios meses y que, en ocasiones, se vieron afectadas por ataques de bandidos o por guerras civiles. Un poco a modo de descanso, se tomaron un año sabático y visitaron Marruecos en 1995. También allí desenterraron una profusión de huesos, entre ellos el

cráneo maravillosamente conservado de un carnívoro gigante llamado *Carcharodontosaurus*, un dinosaurio que Stromer había bautizado en su momento basándose en un cráneo y un esqueleto parcialmente conservados y provenientes de Egipto, que figuraban entre los fósiles incinerados en aquel museo de Múnich. En total, en las expediciones africanas de Paul se recogieron del orden de cien toneladas de huesos de dinosaurios, muchos de los cuales se encuentran todavía en un almacén de Chicago, a la espera de ser estudiados.

Los dinosaurios que no se encuentran en el almacén están inventariados en el laboratorio de Paul, y esos eran los huesos que ahora ponía ante mí. Algunos pertenecían a un extraño saurópodo llamado *Nigersaurus*, una máquina de absorber plantas, con cientos de dientes apretados en el borde anterior de las mandíbulas. Había varias vértebras alargadas del espinosáurido piscívoro *Suchomimus*, los huesos que sostenían la vela extendida a lo largo del dorso. Junto a este estaba el cráneo de textura nudosa de un carnívoro llamado *Rugops*, que probablemente era tanto carroñero como cazador.

Y entre estos fósiles no había solo dinosaurios. También estaban el cráneo del tamaño del de un ser humano del cocodrilo de doce metros de longitud *Sarcosuchus* (bautizado adecuadamente como Supercroc por Sereno, que conoce bien los medios de comunicación), los huesos alares de un pterosaurio de gran tamaño e incluso algunas tortugas y peces. Todos estos fósiles procedían de rocas formadas a lo largo de diez a quince millones de años, entre el Eoceno temprano y medio, en los deltas fluviales y a lo largo de las costas de unos mares tropicales cálidos, bordeadas por bosques de manglar, cuando el Sáhara era una jungla pantanosa y húmeda en lugar de un desierto.

Mis ojos saltaban de un fósil a otro, y la lista de artistas invitados aumentaba a medida que iba abriendo cajón tras cajón; Paul paró y cogió un

hueso. Era parte de la cara de un enorme dinosaurio carnívoro, que parecía casi tan grande como *T. rex*. Había otras cosas en el mismo cajón, como el fragmento de una mandíbula inferior, algunos dientes y una masa fundida de huesos de la parte posterior del cráneo, que habría rodeado el cerebro y los oídos. Paul me contó cómo, unos años atrás, había descubierto los especímenes en una desolada parte de Níger llamada Iguidi, inmediatamente al oeste de un oasis del desierto, en unas areniscas rojas dejadas por un río hacía entre 100 y 95 millones de años. Se podía decir que eran muy parecidos a los huesos de *Carcharodontosaurus* que él mismo había recuperado en Marruecos, pero la equivalencia no era exacta. Quería que yo descubriera la discrepancia.

Tenía diecinueve años, y fue mi primer contacto con el trabajo detectivesco que supone identificar dinosaurios. Era excitante. Pasé el resto del verano escudriñando los huesos, midiéndolos, fotografiándolos y comparándolos con los de otros dinosaurios. Llegué a la conclusión de que las muestras de Níger eran de verdad muy similares al cráneo marroquí de la especie *Carcharodontosaurus saharicus*, pero también concluí que había tantas diferencias que no podían pertenecer a la misma especie. Paul estuvo de acuerdo, y ambos escribimos un artículo científico en el que se describían los fósiles de Níger como un dinosaurio nuevo, un pariente cercano pero distinto de la especie marroquí. Lo bautizamos *Carcharodontosaurus iguidensis*. Era el depredador alfa de los ecosistemas litorales húmedos del África del Cretácico medio, una bestia de doce metros de largo y tres toneladas de peso que dominaba sobre todos los demás especímenes que Paul había recuperado en el Sáhara.

Había un grupo entero de dinosaurios como *Carcharodontosaurus* que habitaron en todo el mundo durante el Cretácico temprano y medio. Se los denomina, quizá de manera poco original, carcarodontosaurios. Entre las

especies que constituyen el álbum familiar hay tres (*Giganotosaurus*, *Mapusaurus* y el que lleva el nombre inquietante de *Tyrannotitan*), todas de Sudamérica, que durante el Cretácico temprano y medio aún tenía conexión con África. Otros parientes vivían más lejos: *Acrocanthosaurus* en Norteamérica, *Shaochilong* y *Kelmayisaurus* en Asia, y *Concavenator* en Europa. Y también había otro en el Sáhara, llamado *Eocarcharia*, que Paul y yo describimos sobre la base de algunos huesos del cráneo que él había encontrado en otra expedición a Níger. Era unos diez millones de años más antiguo que *Carcharodontosaurus* y tenía solo la mitad de su tamaño. Parecía tan brutal como lo pueda ser un dinosaurio, con un nudo retorcido de hueso y piel sobre cada ojo que le confería un ceño maligno y que, quizá, usaba para asestar golpes con la cabeza a las presas con el fin de someterlas.

Los carcarodontosaurios me fascinaban. En resumidas cuentas, iban por el camino por el que los tiranosaurios irían muchas decenas de millones de años después, con un gran aumento del tamaño del cuerpo, el desarrollo de un arsenal de armas depredadoras y un efecto terrorífico sobre todos los seres vivos desde su posición en la cima de la pirámide trófica. ¿De dónde procedían? ¿Cómo se extendieron por todo el mundo y se hicieron tan dominantes? Y después, ¿qué les sucedió?

Solo había una manera de dar respuestas a estas preguntas. Tenía que elaborar un árbol genealógico. La genealogía es clave para comprender la historia, razón por la que tantas personas tienen obsesión con la genealogía propia, yo incluido. Conocer las relaciones entre familiares ayuda a desenmarañar el modo en que una familia ha cambiado a lo largo del tiempo: cuándo y dónde vivieron nuestros antepasados, en qué momento tuvo lugar una migración o una muerte inesperada, cómo unas familias se unieron con otras mediante matrimonios. Lo mismo ocurre con los dinosaurios. Si somos capaces de leer su árbol genealógico —o filogenia, como lo denominan

técnicamente los paleontólogos—, podemos usarlo para iluminar su evolución. Pero ¿de qué modo se establece un árbol genealógico para los dinosaurios? *Carcharodontosaurus* no posee un certificado de nacimiento, y al ancestro de *Giganotosaurus* no se le concedió un visado cuando abandonó África para dirigirse a Sudamérica. Pero hay otro tipo de pista que está codificada en los fósiles mismos.

La evolución provoca cambios en los organismos a lo largo del tiempo, en particular en el aspecto. Cuando dos especies divergen una de otra, por lo general solo las separan diferencias menores, y puede ser muy difícil distinguirlas a primera vista, pero a medida que pasa el tiempo y los dos linajes siguen por caminos separados, se vuelven cada vez más diferentes entre sí. Es la razón por la que me parezco mucho a mi padre, pero apenas a mis primos terceros. La otra cosa que la evolución hace en ocasiones es producir cosas nuevas: un diente adicional o un cuerno que surge de la frente o una mutación que hace que se pierda un dedo. Los descendientes del primer bicho que desarrolle estas novedades las heredarán, pero estas no se verán en primos que ya se hayan separado y que hayan empezado a evolucionar por una senda propia. Yo he heredado todo tipo de cosas de mis padres, y después mis hijos las heredarán de mí. Pero si de repente un primo mío se vuelve raro y desarrolla un par de alas, no me las podrá transmitir, porque entre nosotros no hay una línea de descendencia directa. Esto significa, por suerte en este caso, que ninguno de mis hijos tendrá tampoco estas alas.

Por lo tanto, la genealogía está escrita en la manera en que miramos. En conjunto, es probable que los dinosaurios con esqueletos similares estén más estrechamente emparentados entre sí que con otras especies cuyo aspecto presente diferencias drásticas. Pero si queremos saber si dos dinosaurios son realmente parientes cercanos, debemos buscar estas novedades evolutivas, porque los animales que poseen un rasgo que es fruto de una evolución

reciente, como un dedo adicional, han de estar más emparentados entre sí que con los que no lo poseen. Ello se debe a que tienen que haber heredado esta novedad de un antepasado común, que habría desarrollado el rasgo e iniciado un efecto dominó evolutivo de transmisión a su estirpe, una generación tras otra. Cualquier especie con ese nuevo dedo es parte de la estirpe, mientras que es probable que aquellas que no lo tengan se hallen en una rama lateral del árbol genealógico. De modo que, para componer una genealogía de los dinosaurios, debemos observar los huesos con detenimiento, encontrar una manera de establecer las similitudes y las diferencias, e identificar tanto las novedades evolutivas como qué subconjuntos de los dinosaurios en cuestión las comparten.

Cuando me interesé por los carcarodontosaurios, empecé a rastrear tanta información de cada especie como pude. Fui a los museos para estudiar de primera mano los esqueletos e hice acopio de fotografías, dibujos, bibliografía publicada y notas de algunos de los fósiles más exóticos, que se encontraban en lugares distantes, inaccesibles para un universitario sin financiación. Cuanto más observaba, más encontraba características óseas que variaban entre las especies. Algunos carcarodontosaurios poseían senos profundos que rodeaban su cerebro, mientras que otros no. Los gigantescos, como *Carcharodontosaurus*, poseían voluminosos dientes laminares que se parecían algo a los de los tiburones, de ahí su nombre, que significa «lagarto de dientes de tiburón». Pero las especies más pequeñas tenían dentículos mucho más delicados. La lista seguía, hasta que di con noventa y nueve maneras distintas en las que estos depredadores diferían los unos de los otros.

Llegó el momento de dar sentido a toda esta información. Dispuse la lista en una hoja de cálculo: cada fila era una especie, cada columna uno de los rasgos de la anatomía, cada celda de datos contenía un 0, un 1 o un 2, que denotaban las diferentes versiones de cada rasgo en la especie en concreto.

Dientes delicados en *Eocarcharia*, 0; dientes de tiburón en *Carcharodontosaurus*, 1. Después, introduje la hoja de cálculo en un programa informático que emplea algoritmos para buscar a través del laberinto de datos y que genera un árbol genealógico. Señala qué rasgos anatómicos son novedosos y después identifica qué especies los comparten. Puede parecer una tontería, pero el ordenador es de verdad necesario, porque la distribución de novedades puede ser complicada. Algunas se ven en muchas especies, como los grandes senos alrededor del cerebro, que están presentes en la mayoría de los carcarodontosaurios. Otras son mucho más raras, como los dientes parecidos a los de un tiburón, que solo se ven en *Carcharodontosaurus*, en *Giganotosaurus* y en sus parientes más cercanos. El ordenador puede integrar esta complejidad y reconocer una pauta de muñecas rusas. Si dos especies comparten muchas novedades solo entre ellas, han de ser los parientes más cercanos. Si estas dos especies comparten otras novedades con un tercer animal, estas tres han de estar más estrechamente emparentadas entre sí que con el resto de los dinosaurios. Y así sucesivamente, hasta que se ha dibujado un árbol genealógico completo. En conjunto, este proceso es lo que los entendidos denominan un «análisis cladístico».

El árbol genealógico de los carcarodontosaurios me ayudó a desvelar su evolución. Primero clarificó de dónde procedían estos carnívoros colosales y cómo se elevaron hasta alcanzar la gloria. Los inicios se encuentran en el Jurásico tardío y son parientes muy cercanos del depredador más terrorífico del Jurásico, el carnicero en persona, *Allosaurus*. Efectivamente, evolucionaron a partir de una legión de supercarnívoros que ya ocupaban el nicho de los depredadores culminales, pero aumentaron en grado al aumentar de tamaño y hacerse más fuertes y más feroces, mientras que sus antepasados se extinguieron al final del Jurásico, hace 145 millones de años, durante la

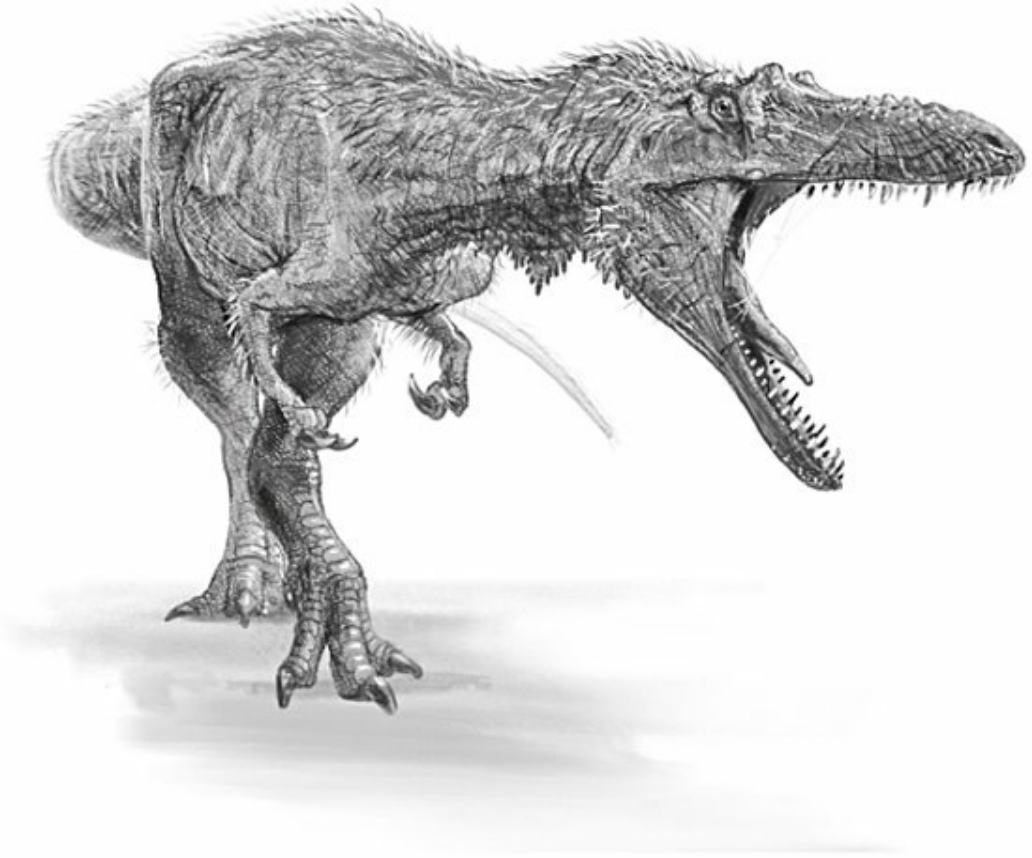
larga noche del cambio climático y del entorno. ¿Acaso condujeron a la extinción a aquellos otros alosaurios o sacaron provecho de que estos sucumbieran por otras razones? Todavía no sabemos la respuesta. En cualquier caso, los carcarodontosaurios encontraron una manera de usurpar el lugar de sus ancestros y, según comenzaba el Cretácico, el reino les pertenecía. Durante los siguientes 50 millones de años, aproximadamente, hasta bien entrado el Cretácico medio, los carcarodontosaurios dominaron el mundo.

La genealogía proporciona atisbos de algo más, de por qué estos monstruos comedores de carne vivieron donde vivían. Puesto que aparecieron en un momento en que la mayoría de los continentes aún estaban conectados, durante el Jurásico tardío, los primeros carcarodontosaurios se distribuyeron con facilidad por todo el mundo. A medida que pasaba el tiempo y que los continentes se fragmentaban más y más, distintas especies quedaron aisladas en áreas diferentes. La estructura del árbol genealógico lo muestra, refleja el movimiento de los continentes. Algunos de los últimos carcarodontosaurios en evolucionar constituían una familia de especies sudamericanas y sudafricanas. Sudamérica y África estuvieron unidas mucho después de separarse de Norteamérica, Asia y Europa. Aislados al sur del ecuador, los miembros de esta familia —*Giganotosaurus*, *Mapusaurus* y el *Carcharodontosaurus* de Níger que estudié con Sereno— crecieron hasta alcanzar tamaños antes insólitos para los dinosaurios carnívoros.

No obstante, por feroces que fueran los carcarodontosaurios, no permanecerían para siempre en la cima. Junto con ellos, a su sombra, vivía otra raza de carnívoros, más pequeños, más rápidos, con un cerebro mayor. Responden al nombre de «tiranosaurios». Pronto llegaría su turno e iniciarían un nuevo imperio de dinosaurios.

5

Los DINOSAURIOS TIRANOS



Qianzhousaurus

Un sofocante día de verano de 2010, en la ciudad de Ganzhou, en el sudeste de China, el operador de una retroexcavadora oyó un fuerte crujido. Se temió lo peor. La cuadrilla se apresuraba para terminar un polígono industrial: una extensa y monótona miríada de despachos y almacenes, igual que tantos otros que llevo viendo proliferar por todo el país a lo largo de la última década. Cualquier retraso podía salir caro. Quizá había topado con una roca madre impenetrable, con una antigua cañería de agua o con cualquier otra molestia que retrasaría el proyecto.

Sin embargo, cuando el polvo y el humo se disiparon, no vio ni tuberías ni cables destrozados. No había roca firme a la vista. En cambio, apareció algo muy diferente: unos huesos fosilizados, muchísimos, algunos de ellos enormes.

La obra se paró. El operario no poseía ningún título ni ninguna formación especial en paleontología, pero se dio cuenta de que era un descubrimiento importante. Sabía que tenía que tratarse de un dinosaurio. El país se había convertido en el epicentro de nuevos descubrimientos de dinosaurios; en la actualidad, aproximadamente la mitad de las nuevas especies se encuentran allí. De modo que llamó al capataz; a partir de ese momento, comenzó la locura.

El dinosaurio había permanecido enterrado durante más de 66 millones de años, pero ahora su suerte dependía de una de esas decisiones rápidas que se toman en una crisis. La noticia empezó a filtrarse. Presa del pánico, el capataz llamó a un amigo de la ciudad, un coleccionista de fósiles y entusiasta de los dinosaurios al que la posteridad ha conocido como Sr. Xie, sin más. Dándose

cuenta de la importancia del descubrimiento, el Sr. Xie —cuyo apellido honorífico y vago recuerda a uno de esos personajes tenebrosos de las películas de James Bond— acudió corriendo al lugar de las obras y telefoneó a algunos colegas del departamento de recursos minerales de la ciudad, un organismo del gobierno local. El juego telefónico siguió adelante y la agencia pudo reunir a un pequeño equipo para extraer los huesos. Les llevó seis horas, en las que recolectaron todos los fragmentos que pudieron encontrar. Llenaron veinticinco bolsas con partes de dinosaurios y las llevaron al museo municipal para mantenerlas a buen recaudo.

Se hizo a un ritmo perfecto, se evitó la tragedia por poco… Justo cuando el equipo estaba terminando, aparecieron en escena tres o cuatro traficantes de fósiles. Los charlatanes del mercado negro habían olido un nuevo dinosaurio como si fueran sabuesos y quisieron hacerse con él. Un poco de dinero para un soborno se transformaría en un beneficio enorme si vendían el nuevo dinosaurio a algún acaudalado hombre de negocios extranjero al que le gustasen los fósiles exóticos. Es algo muy común en China y en muchas otras partes del mundo, aunque a menudo va en contra de la ley. Parte el corazón pensar en la cantidad de fósiles que se ha perdido y que ha ido a parar al oscuro submundo del tráfico ilegal y del crimen organizado. Pero esta vez ganaron los buenos.

Cuando los científicos examinaron los huesos en la seguridad del museo local y empezaron a ensamblarlos, se dieron cuenta de inmediato de lo increíble que era este nuevo descubrimiento. No se trataba de un revoltijo de huesos al azar sin más, sino de un esqueleto casi completo de un dinosaurio depredador, uno de esos voluminosos gigantes de aguzados dientes que siempre parecen desempeñar el papel de villano en las películas y en los documentales de televisión. Y el esqueleto parecía similar al de un famoso dinosaurio encontrado a medio mundo de distancia, el gran *Tyrannosaurus*

rex, que había deambulado por los bosques de Norteamérica aproximadamente por la misma época en que se formaron aquellas rocas rojas de Ganzhou, a través de las que el trabajador que manipulaba la retroexcavadora se abría paso para preparar los cimientos del edificio.

Entonces los científicos comprendieron que estaban contemplando un tiranosaurio asiático. El feroz gobernante de un mundo que existió 66 millones de años atrás, de junglas densas y rebosantes de una humedad pegajosa durante todo el año, con pantanos y algunos pozos de arenas movedizas aquí y allá, salpicado de helechos y de pinos y otras coníferas. El ecosistema bullía de lagartos, de dinosaurios emplumados omnívoros, de saurópodos y de enjambres de dinosaurios de pico de pato, algunos de los cuales quedaron atrapados en los fangosos pozos de la muerte y se conservaron en forma fósil. Los que tuvieron la suerte de sobrevivir fueron las apetitosas presas del animal con el que aquel trabajador se había topado por pura casualidad, uno de los parientes próximos de *T. rex*.

El bendito operario había hecho uno de esos descubrimientos con los que sueñan la mayoría de los paleontólogos. Por suerte para mí, yo iba a participar en él sin acometer el duro trabajo de buscarlo en persona.

Unos años después de aquel alocado día de finales de verano en Ganzhou, me encontraba en un congreso en el Museo Burpee de Historia Natural, en el invernal desierto helado del norte de Illinois, muy cerca de donde crecí. Científicos de todo el mundo se habían reunido allí para discutir sobre la extinción de los dinosaurios. A primera hora del día, me había quedado hipnotizado por la ponencia de Junchang Lü; los ojos se me habían ido abriendo cada vez más con cada diapositiva, a medida que se iban proyectando en la pantalla, foto tras foto, fósiles nuevos y magníficos de

China. Conocía la fama del profesor Lü. En general, se le consideraba como uno de los principales buscadores de dinosaurios de su país, un hombre cuyos descubrimientos habían ayudado a establecerlo como el lugar más apasionante del mundo para la investigación sobre dinosaurios.

El profesor Lü era una estrella, mientras que yo era un joven investigador, pero, para mi sorpresa, fue él quien se acercó a mí. Le estreché la mano y lo felicité por la conferencia, e intercambiamos algunas palabras de cortesía. Pero denotaba urgencia en la voz, y me di cuenta de que sostenía una carpeta llena de fotografías. Algo pasaba.

Me dijo que se le había encargado que estudiara un dinosaurio nuevo y espectacular que un obrero de la construcción había encontrado en el sur de China hacía algunos años. Sabía que era un tiranosaurio, pero parecía peculiar. Tenía suficientes diferencias con respecto a *T. rex* como para tratarse de una nueva especie. Y parecía bastante similar a un extraño tiranosaurio que yo había descrito unos años antes, cuando era estudiante de posgrado: un depredador delgado y de hocico largo de Mongolia llamado *Alioramus*. Pero él no estaba seguro. Quería una segunda opinión. Desde luego, me ofrecí a colaborar en todo lo que pudiera.

El profesor Lü, o Junchang, como pasé a llamarlo muy pronto, me contó todo acerca de su pasado; cómo había crecido en el seno de una familia pobre, en la provincia de Shandong, en la costa oriental de China. Era un hijo de la Revolución Cultural que había evitado el hambre a base de vegetales silvestres. Después, una vez que cambiaron los vientos de la política, estudió geología en la universidad, fue a Texas para hacer la tesis doctoral y volvió a Beijing para aceptar uno de los empleos más preciados de la paleontología china, una plaza de profesor en la Academia China de Ciencias Geológicas.

Junchang, el campesino convertido en profesor, se hizo amigo mío. No mucho tiempo después de que coincidiéramos en el congreso, me invitó a ir a

China para estudiar el nuevo tiranosaurio y escribir un artículo científico que describiera el esqueleto. Escudriñamos cada parte de la osamenta, comparándolo con todos los demás tiranosaurios. Confirmamos que se trataba de un primo cercano de *T. rex*. Algo más de un año después, en 2014, hicimos público el descubrimiento casual de aquel obrero como un miembro recién estrenado del árbol genealógico de los tiranosaurios, una nueva especie a la que denominamos *Qianzhousaurus sinensis*. El nombre formal parece un trabalenguas, de modo que le pusimos el sobrenombre de Pinocho Rex, en referencia a su simpático y largo hocico. El descubrimiento llegó a oídos de la prensa (a los periodistas pareció gustarles el tonto apodo), y a Junchang y a mí nos divirtió ver nuestras caras a toda plana en los tabloides británicos a la mañana siguiente del anuncio.

Huesos faciales de *Alioramus altai*, una nueva especie de tiranosaurio de hocico largo de Mongolia, que describí cuando era estudiante de doctorado. *Fotografía de Mick Ellison.*

Qianzhousaurus forma parte del aluvión de nuevos descubrimientos de tiranosaurios que ha tenido lugar durante la última década y que está transformando el conocimiento que tenemos de este grupo de dinosaurios carnívoros, el más icónico de todos. El propio *Tyrannosaurus rex* ha estado en el candelero durante más de un siglo, desde que fue descubierto en los primeros años de la década de 1900. Es el rey de los dinosaurios, un leviatán de doce metros de largo y siete toneladas de peso que podía mirar cara a cara a casi todos los habitantes del planeta. Más adelante, durante el siglo XX, los científicos descubrieron algunos parientes cercanos de *T. rex* que también eran impresionantemente grandes, y se dieron cuenta de que estos grandes depredadores formaban su propia rama en la genealogía de los dinosaurios, un grupo al que denominamos «tiranosaurios», o «tiranosauroideos» en la jerga científica formal. Con todo, los científicos seguían rompiéndose la cabeza para comprender cuándo se habían originado estos dinosaurios fantásticos, a partir de qué habían evolucionado y cómo pudieron crecer hasta un tamaño semejante y alcanzar la cumbre de la cadena trófica. Estas preguntas no han tenido respuesta hasta ahora.

A lo largo de los últimos quince años, los investigadores han recuperado casi veinte especies nuevas de tiranosaurios en localidades de todo el mundo. La polvorienta obra del sur de la China en la que se encontró *Qianzhousaurus* es uno de los lugares menos insólitos en los que se han encontrado. También se han extraído especies antes desconocidas de los acantilados batidos por el mar del sur de Inglaterra, de los helados campos de nieve del círculo ártico y de las extensiones arenosas del desierto de Gobi. Estos hallazgos nos han permitido a mis colegas y a mí construir un árbol genealógico de los tiranosaurios con el fin de estudiar su evolución.

Los resultados son sorprendentes.

Resulta que los tiranosaurios eran un grupo antiguo, originado más de 100 millones de años antes de *T. rex*, durante los días dorados del Jurásico medio, cuando los dinosaurios empezaban a prosperar y los saurópodos cuellilargos, como aquellos cuyas huellas encontramos en esa antigua laguna escocesa, retumbaban por la tierra. Los primeros tiranosaurios no impresionaban demasiado. Eran carnívoros marginales, del tamaño de un humano. Continuaron así durante más o menos otros 80 millones de años, viviendo a la sombra de depredadores mayores, primero *Allosaurus* y sus parientes, en el Jurásico, y después los feroces carcarodontosaurios, en el Cretácico temprano y medio. Solo entonces, después de aquel interminable periodo de evolución en el anonimato, comenzaron los tiranosaurios a aumentar de tamaño y a hacerse más fuertes y dañinos. Alcanzaron la cima de la cadena trófica y dominaron el mundo durante los últimos 20 millones de años de la Era de los Dinosaurios.

El relato de los tiranosaurios empieza con el descubrimiento de *Tyrannosaurus rex*, que ha dado nombre al grupo, en los primeros días del siglo XX. El científico que estudió *T. rex* era un buen amigo del presidente Theodore Roosevelt, un colega de la infancia que compartía el amor de Teddy por la naturaleza y la exploración. Se llamaba Henry Fairfield Osborn, y durante los primeros años de la década de 1900 fue uno de los científicos más prominentes en Estados Unidos.

Osborn fue presidente del Museo Americano de Historia Natural, en Nueva York, y de la Academia Americana de Artes y Ciencias, y en 1928 incluso apareció en la portada de la revista *Time*. Pero Osborn no era un hombre de ciencia típico. Por sus venas corría sangre azul; su padre era un magnate de los ferrocarriles y su tío, el tiburón de las finanzas empresariales J. P.

Morgan. Parecía ser miembro de todos los clubes privados de la alta sociedad que existieran, los típicos salones con paneles de madera y siempre llenos de humo. Cuando no estaba midiendo huesos fósiles, se dedicaba a codearse con la élite de Nueva York en los áticos de la parte alta del East Side.

En la actualidad, a Osborn no se le recuerda con cariño. No era un hombre muy amable. Utilizaba su riqueza y sus conexiones políticas para plantear y defender sus ideas sobre eugenesia y superioridad racial. Veía a los inmigrantes, a las minorías y a los pobres como enemigos. Osborn incluso llegó a organizar una expedición científica a Asia con la esperanza de encontrar los fósiles humanos más antiguos, para demostrar que su especie no podía haberse originado en África. No podía soportar ser el descendiente evolutivo de una raza «inferior». No es extraño que a menudo se le considere simplemente otro fanático de tiempos pasados.

A buen seguro, Osborn no es el tipo de persona con la que me tomaría una cerveza —o, si por él fuera, un cóctel supersofisticado— si me encontrara en la Nueva York de la época dorada. Se trata nada más que de una especulación, pero, en cualquier caso, es posible que tampoco se hubiera sentado conmigo, receloso de las resonancias étnicas de mi nombre italiano. No obstante, no puede negarse el hecho de que Osborn fue un paleontólogo avispado y un administrador científico todavía mejor. Fue en el papel de presidente del Museo Americano de Historia Natural —la prestigiosa institución que se eleva como una catedral en la margen occidental de Central Park, donde yo trabajaría posteriormente en mi tesis doctoral— que Osborn tomó una de las mejores determinaciones de su carrera. Decidió enviar a un perspicaz recolector de fósiles llamado Barnum Brown al oeste de Estados Unidos en busca de dinosaurios.

Ya hemos conocido un poco a Brown en el capítulo anterior, cuando una versión suya mucho mayor excavaba dinosaurios del Jurásico en la cantera

Howe, en Wyoming. Brown fue un héroe improbable. Había crecido en un pequeño pueblo de la pradera de Kansas, un pueblo construido en torno a una empresa de extracción de carbón, en el que vivían solo unos pocos cientos de personas. Sus padres le dieron un nombre ostentoso, inspirado en el del empresario circense P. T. Barnum, quizá en un intento de escapar de la monotonía de la vida rural. El joven Barnum no tenía mucha gente con la que hablar, pero estaba rodeado por la naturaleza y se encaprichó con las rocas y con las conchas. Incluso montó un pequeño museo en su casa, algo que mi hermano más pequeño, que también creció en un plácido pueblo del Medio Oeste y que estaba obsesionado con los dinosaurios, haría después de ver *Jurassic Park* en el cine. Brown fue a la universidad para estudiar geología y después se abrió camino desde una vida de poca monta hasta Nueva York, cuando contaba con veinte años. Fue allí donde conoció a Osborn y fue contratado como ayudante de campo, con el encargo de encontrar dinosaurios de gran tamaño en las extensiones no exploradas de Montana y las Dakotas, para llevarlos bajo las brillantes luces de Manhattan, donde los miembros de la alta sociedad, que nunca habían dormido una sola noche al aire libre, quedarían boquiabiertos ante semejante magnificencia.

Así es como Brown se encontró, en 1902, en los desolados yermos del este de Montana. Mientras prospectaba en las colinas, dio con un batiburrillo de huesos. Parte de un cráneo y una mandíbula, algunas vértebras y costillas, fragmentos de un hombro y de un brazo y la mayor parte de una pelvis. Eran unos huesos enormes. El tamaño de la pelvis daba indicios de un animal de varios metros de altura, sin duda mucho mayor que un humano. Y estaba claro que eran los restos de un animal musculoso que podía correr relativamente deprisa sobre dos patas, el tipo corporal característico de un dinosaurio carnívoro. Se habían encontrado otros dinosaurios depredadores con anterioridad, como *Allosaurus*, el carnicero del Jurásico tardío, pero

ninguno de ellos se acercaba ni mucho menos al tamaño colosal de la nueva bestia de Brown. A punto de cumplir los treinta años, había hecho un descubrimiento que lo distinguiría para el resto de su vida.

Barnum Brown (izquierda) y Henry Fairfield Osborn excavando huesos de dinosaurio en Wyoming, 1897. *Museo Americano de Historia Natural.*

Imagen #17808, Biblioteca del Museo Americano de Historia Natural

Brown envió el material descubierto a Nueva York, donde Osborn lo esperaba ansioso. Los huesos eran tan grandes que se tardó años en limpiarlos y en montarlos en un esqueleto parcial que pudiera exhibirse al público. Este trabajo se llevó a cabo principalmente a finales de 1905, cuando Osborn anunció el nuevo dinosaurio al mundo. Publicó un artículo científico formal, en el que designaba al nuevo dinosaurio como *Tyrannosaurus rex*, una bonita combinación de griego y latín que significa «lagarto-tirano–rey», y puso los huesos en exposición en el Museo Americano, tal como se conoce a la institución entre los científicos. El nuevo dinosaurio causó sensación y apareció en los periódicos de todo el país. *The New York Times* lo homenajeó como «el animal luchador más formidable» que hubiera existido jamás. Al museo acudían multitudes, y cuando se encontraban cara a cara con el tirano rey, quedaban boquiabiertas ante su tamaño monstruoso y estupefactas por su antiquísima edad, que entonces se estimaba en unos 8 millones de años —ahora sabemos que es mucho más antiguo, unos 66 millones de años de antigüedad—. *T. rex* se había convertido en una celebridad, y lo mismo le ocurrió a Barnum Brown.

Siempre se le recordará como el hombre que descubrió *Tyrannosaurus rex*, pero solo se trató del inicio de su carrera. Desarrolló una capacidad tal para encontrar fósiles, que fue ascendiendo peldaño a peldaño desde una posición de buscador de fósiles sin mayores funciones hasta ser el conservador de paleontología de vertebrados del Museo Americano, el científico a cargo de la mejor colección de dinosaurios del mundo. En la actualidad, si el lector visita las espectaculares salas dedicadas a los dinosaurios, muchos de los fósiles que verá son los recuperados por Brown y su equipo. No es de extrañar que Lowell Dingus, un antiguo colega de Nueva York que escribió una biografía de Brown, se refiera a él como «el mejor recolector de

dinosaurios que haya vivido nunca». Esta opinión la comparten muchos de mis compañeros paleontólogos.

Brown fue el primer paleontólogo célebre, aclamado por sus animadas conferencias y por un programa semanal de radio en la CBS. La gente acudía en masa a verlo cuando atravesaba el oeste estadounidense en tren, y en una fase posterior de su vida ayudó a Walt Disney a dibujar los dinosaurios de *Fantasía*. Como cualquier buen famoso, Brown era un excéntrico. Iba a la búsqueda de fósiles en pleno verano vestido con un largo abrigo de piel, obtenía dinero extra ejerciendo como espía para gobiernos y para compañías petrolíferas, y le gustaban tanto las mujeres que todavía hoy se habla por todas las llanuras del oeste de Estados Unidos de la compleja red de retoños que dejó tras de sí. No puedo dejar de pensar que, si Brown viviera en la actualidad, sería la estrella de algún extravagante *reality*. Y, probablemente, político.

Algunos años después de que *T. rex* irrumpiera en Nueva York, Brown volvió a las andadas, enfundado en su abrigo de piel, para saltar de roca en roca por las tierras yermas de Montana en busca de más fósiles. Como era habitual, los encontró. Esta vez era un *Tyrannosaurus* mucho mejor, un esqueleto más completo con un cráneo magnífico, casi tan largo como una persona, con una cincuentena de dientes del tamaño de los clavos de las vías férreas. Mientras que el primer *T. rex* de Brown estaba demasiado incompleto para hacer una buena estimación del tamaño total del animal, este segundo fósil demostró que *T. rex* era realmente un rey, un dinosaurio de más de diez metros de largo que debió de pesar varias toneladas. No cabía duda, era el mayor depredador terrestre y el más temible que se hubiera descubierto nunca.

Durante las décadas siguientes, *T. rex* gozó de una vida en la cumbre, como estrella de películas y de exposiciones museísticas en todo el mundo. Luchó contra el gorila gigante King Kong y aterrorizó al público en las adaptaciones para la pantalla de *El mundo perdido*, de Arthur Conan Doyle. Pero esta fama ocultaba un enigma; durante casi todo el siglo XX, los científicos no tuvieron ni idea de cómo encajaba *T. rex* en el panorama más amplio de la evolución de los dinosaurios. Era un bicho raro, un animal mucho más grande que los demás depredadores conocidos y, por ende, diferente de ellos en un grado importante, por lo que era difícil situarlo en el álbum de familia.

Durante las primeras décadas después del descubrimiento de Brown, los paleontólogos desenterraron un puñado de parientes próximos de *Tyrannosaurus rex* en Norteamérica y Asia. A nadie le sorprendió que el propio Brown hiciera algunos de los descubrimientos más importantes, de los que el más notable fue una fosa común de grandes tiranosaurios en Alberta, en 1910. Estos primos de *T. rex* (*Albertosaurus*, *Gorgosaurus* y *Tarbosaurus*) son muy parecidos a él en tamaño y tienen un esqueleto casi idéntico. A medida que la ciencia de la datación de rocas avanzó durante la segunda mitad del siglo XX, también se determinó que estos otros tiranosaurios habían vivido aproximadamente por la misma época que *T. rex*, en la parte final del Cretácico tardío, hace entre 84 y 66 millones de años. Así pues, los científicos se enfrentaban a un dilema. Había un montón de tiranosaurios enormes en la cima de la cadena trófica que prosperaban en el cénit de la historia de los dinosaurios. ¿De dónde habían salido?

Solo en fechas muy recientes se ha resuelto este misterio, y como ocurre con mucho de lo que hemos descubierto sobre los dinosaurios en las últimas décadas, nuestros nuevos conocimientos de la evolución de los tiranosaurios proceden de una abundancia de nuevos fósiles. Muchos de ellos provienen de localidades inesperadas, y quizá ninguna tanto como el que actualmente se

reconoce como el tiranosaurio más antiguo, un bicho pequeño y modesto llamado *Kileskus* que se descubrió en 2010 en Siberia. Es probable que esta no sea la región que nos viene a la mente cuando pensamos en dinosaurios, pero ahora se encuentran fósiles en todo el mundo, incluso en las áreas septentrionales de Rusia, donde los paleontólogos han de habérselas con duros inviernos y con veranos húmedos e infestados de mosquitos.

Alexander Averianov, mi amigo del Instituto Zoológico de la Academia Rusa de Ciencias en San Petersburgo, es uno de esos paleontólogos. Sasha, como lo llamamos, figura entre los expertos mundiales en los mamíferos diminutos que vivieron con los dinosaurios —o, para ser más precisos, bajo ellos—. También estudia los grandes reptiles que mantenían sojuzgados a sus amados mamíferos. Sasha inició su carrera cuando la Unión Soviética se desintegraba, y gracias a sus numerosos descubrimientos y meticulosas descripciones de la anatomía fósil, se ha convertido en uno de los principales paleontólogos de la Rusia actual.

Hace unos años, en un congreso, Sasha me mostró un nuevo dinosaurio de Uzbekistán. Me llevó raudo a su habitación, abrió con ceremonia una caja de cartón adornada de colores naranja y verde, y extrajo parte del cráneo de un carnívoro. Volvió a poner el fósil en la caja y me la entregó para que pudiera llevármela a Edimburgo y hacerle un TAC. Pero antes de dármela, me miró a los ojos y, con el hablar arrastrado y el acento ruso de los malos de las películas, me dijo: «Ten cuidado con el fósil, pero tenlo todavía más con la caja. Es una caja soviética. Ya no las hacen así. —Con una sonrisa traviesa, sacó una pequeña botella de un líquido de color oscuro—. Y ahora, brindemos con coñac de Daguestán», proclamó llenando dos vasos, y después otros dos, y a continuación una tercera ronda. Brindamos por sus tiranosaurios.

Al igual que el primer fósil de *Tyrannosaurus rex* de Brown, *Kileskus*, el

dinosaurio de Sasha, era solo una fracción de un esqueleto. Había parte del hocico y del lado de la cara, un diente, un fragmento de la mandíbula inferior y algunos huesos al azar de manos y pies. Estos huesos se habían encontrado todos en un par de metros cuadrados de una cantera en la que el equipo de Sasha había trabajado durante varios años, en la región de Krasnoiarsk, en Siberia central. Krasnoiarsk es uno de los más de ochenta sujetos federales de Rusia, tal como la constitución postsoviética denomina a los equivalentes de los estados de Estados Unidos o a las provincias del Canadá. Pero no es como el pequeño Delaware, ni siquiera como Texas ni, por increíble que parezca, como Alaska. Krasnoiarsk se extiende por casi toda la sección central de Rusia, desde el mar Ártico al norte, hasta casi tocar la frontera con Mongolia al sur. Tiene algo menos de dos millones y medio de kilómetros cuadrados de superficie, mucho más grande que Alaska e incluso algo mayor que Groenlandia. Muchísimo espacio, pero muy pocos habitantes: la población total es más o menos igual a la de Chicago. En estas vastas tierras vírgenes, Sasha pudo encontrar el tiranosaurio más antiguo del mundo. El nombre que le dio, *Kileskus*, significa «lagarto» en un idioma local, hablado solo por unos pocos miles de personas de esta aislada parte del mundo.

El descubrimiento no produjo mucho revuelo en la prensa, y escapó a la atención de muchos científicos cuando Sasha lo describió en una oscura revista rusa que no se halla en el radar de la mayoría de los paleontólogos. *Kileskus* no recibió un apodo simpático, y es probable que no aparezca en ninguna de las futuras películas de la serie *Jurassic Park*. Es uno de los cincuenta y pico dinosaurios nuevos que se anuncian cada año en un artículo científico y que después se olvidan casi por completo, excepto por parte de un puñado de especialistas. Pero para mí *Kileskus* es uno de los descubrimientos más interesantes de la última década, porque es una prueba evidente de que los tiranosaurios tuvieron un inicio evolutivo temprano.

Kileskus se encontró en unas rocas formadas durante la parte media del periodo Jurásico, hace unos 170 millones de años, más de 100 millones de años antes de que *T. rex* y sus primos colosales se encontraran en su máximo esplendor en Norteamérica y Asia.

Kileskus puede ser importante, pero no impresiona mucho a la vista. En primer lugar, observé los huesos en el oscuro despacho de Sasha, en un edificio grande y antiguo a lo largo del helado río Neva, que a principios de abril todavía estaba en proceso de deshielo. Sí, el fósil de Sasha está constituido solo por unos pocos huesos, pero esto no es muy sorprendente. La inmensa mayoría de los nuevos descubrimientos de dinosaurios consiste en solo unos cuantos fragmentos mezclados de hueso, porque hace falta muchísima suerte para que incluso una minúscula fracción de esqueleto resista millones de años enterrado en el suelo. No, lo que me sorprendió de *Kileskus* fue su pequeño tamaño. Todos los huesos pueden caber cómodamente en un par de cajas de zapatos. Los podía levantar del estante con facilidad. Si quisiera coger el cráneo de *T. rex* que hay en Nueva York, necesitaría una carretilla elevadora.

Resulta difícil creer que un animal tan modesto como *Kileskus* pueda haber originado a un gigante como *T. rex*. Aunque faltan huesos para dar una medida precisa de su tamaño, lo más probable es que *Kileskus* no tuviera más de dos metros o dos y medio de largo, la mayor parte de los cuales corresponderían a la delgada cola. Como máximo debía de tener algo más de medio metro de alto, nos habría llegado a la cintura o al pecho, como un perro grande. Y no habría pesado más de unos cuarenta kilogramos. Si *T. rex*, que tenía doce metros de largo, tres metros de alto y siete toneladas de peso, hubiera vivido en Rusia durante el Jurásico medio, podría haberse quitado de en medio a *Kileskus* con poco esfuerzo, incluso con sus patéticos bracitos. *Kileskus* no era un monstruo tosco. No era un depredador culminal. Es

probable que se pareciera a un lobo o un chacal, un cazador patilargo y de peso ligero que se valía de la velocidad para atrapar a presas pequeñas. Seguramente no es una coincidencia que la cantera en Krasnoiarsk en la que se encontró *Kileskus* esté llena de fósiles de lagartos, salamandras, tortugas y mamíferos, todos de pequeño tamaño. Los primerísimos tiranosaurios se alimentaron de estos animales, no de saurópodos cuellilargos ni de estegosaurios del tamaño de un jeep.

Puesto que *Kileskus* es tan diferente de *T. rex* en tamaño y hábitos de caza, ¿cómo sabemos que es siquiera un tiranosaurio? Si se hubiera descubierto a *Kileskus* al mismo tiempo que a *T. rex*, es probable que los científicos no hubieran hecho la conexión. Incluso si *Kileskus* se hubiera encontrado hace unas pocas décadas, lo más seguro es que no se hubiera identificado como un tiranosaurio primitivo, como un tatarabuelo de *T. rex*. Ahora lo sabemos, y una vez más se debe a nuevos fósiles.

Sasha tuvo la gran suerte de encontrar *Kileskus* solo cuatro años después de que un equipo dirigido por mi colega Xu Xing diera con un pequeño carnívoro muy parecido de la parte media del Jurásico, en el lejano occidente de China. Por suerte, el equipo de Xu no encontró solo un par de huesos rotos. Desenterraron dos esqueletos casi completos, uno de un adulto y el otro de un adolescente. El relato de cómo estos dinosaurios llegaron allí podría ser el guion de una película de desastres. El más joven se encontró en el fondo de un pozo de unos metros de profundidad, aplastado por el adulto. Ambos estaban sepultados en el fango y la ceniza volcánica. Era evidente que algo terrible había sucedido, pero lo que supuso una tortura para estos dinosaurios fue un golpe de suerte para los paleontólogos.

Xu y su grupo bautizaron a su nuevo dinosaurio como *Guanlong*, que en chino significa «dragón de corona». El nombre se refiere a la llamativa cresta de hueso, como de mohicano, que recorre la parte superior del cráneo. Es más

delgada que un plato llano y está perforada por varios agujeros. Es el tipo de elemento con una pinta absurda de no servir para nada, que con probabilidad no tenía más que una función, la de un ornamento de exhibición para aparearse y para intimidar a los rivales, algo así como la vistosa cola de un pavo real, que no sirve para otra cosa que para exhibirse.

Pasé días estudiando con detenimiento los huesos de *Guanlong* en Beijing. La cresta es lo primero que llamó mi atención, pero otras características de los huesos ofrecen pistas básicas para ubicarlo en el árbol genealógico y relacionarlo a la vez con *Kileskus* y con *Tyrannosaurus rex*. Para empezar, es evidente que es muy parecido al primero, ya que ambos tienen el mismo tamaño aproximado, poseen enormes orificios nasales parecidos a ventanas en la parte frontal del hocico y cuentan con largos huesos en la mandíbula superior, con una profunda depresión sobre los dientes que debió de alojar un seno enorme. Por otra parte, *Guanlong* exhibe muchas características que, entre todos los dinosaurios carnívoros, solo se ven en *T. rex* y otros grandes tiranosaurios; en otras palabras, como hemos visto antes, las novedades evolutivas claves para entender la genealogía. Por ejemplo, posee unos huesos nasales fuertemente fusionados en la parte superior del hocico, cuya zona frontal se muestra amplia y redondeada, un pequeño cuerno frente al ojo, y dos enormes marcas de fijación muscular en la parte anterior de la pelvis. Asimismo, hay otras muchas semejanzas, minucias anatómicas que pueden parecer aburridas, pero que a mis colegas científicos y a mí nos dicen que *Guanlong* es definitivamente un tiranosaurio primitivo. Y debido a que los esqueletos completos de *Guanlong* comparten tantas características con los huesos mucho más fragmentarios de *Kileskus*, este también tiene que serlo.

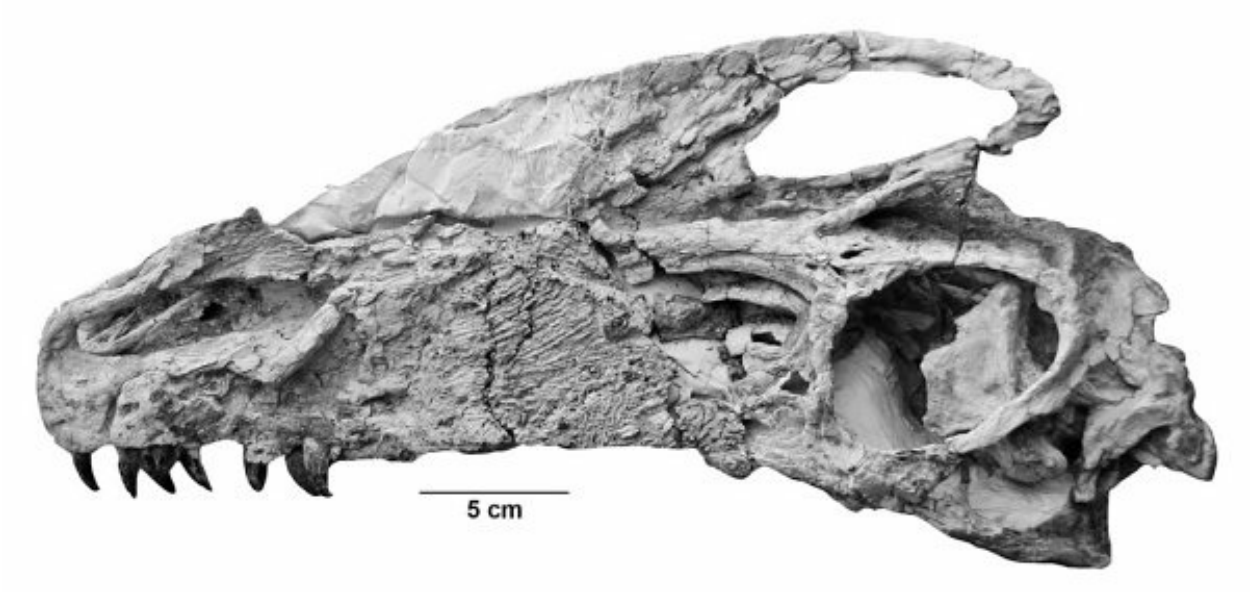
Además de ayudar a demostrar que *Kileskus* es un miembro de la familia, los esqueletos completos de *Guanlong* presentan asimismo una imagen más

clara del aspecto que debieron de tener estos primeros y muy primitivos tiranosaurios, de cómo debieron comportarse y de cómo encajaban en los ecosistemas que habitaban. Sobre la base de las dimensiones de sus extremidades, un elemento que se sabe que tiene estrecha correlación con el peso corporal en animales vivos, *Guanlong* debió de pesar unos setenta kilogramos. Era un animal ágil y esbelto, con unas piernas largas y delgadas, y una cola que se extendía mucho más allá del cuerpo para mantener el equilibrio. Sin duda, era un cazador rápido. Tenía una boca llena de dientes parecidos a cuchillos carniceros, como conviene a un depredador, pero también poseía unos brazos relativamente largos, con tres dedos rematados por garras, con la capacidad de agarrar a las presas con una fuerza extrema. Son totalmente diferentes de los brazos débiles y de dos dedos de *T. rex*.

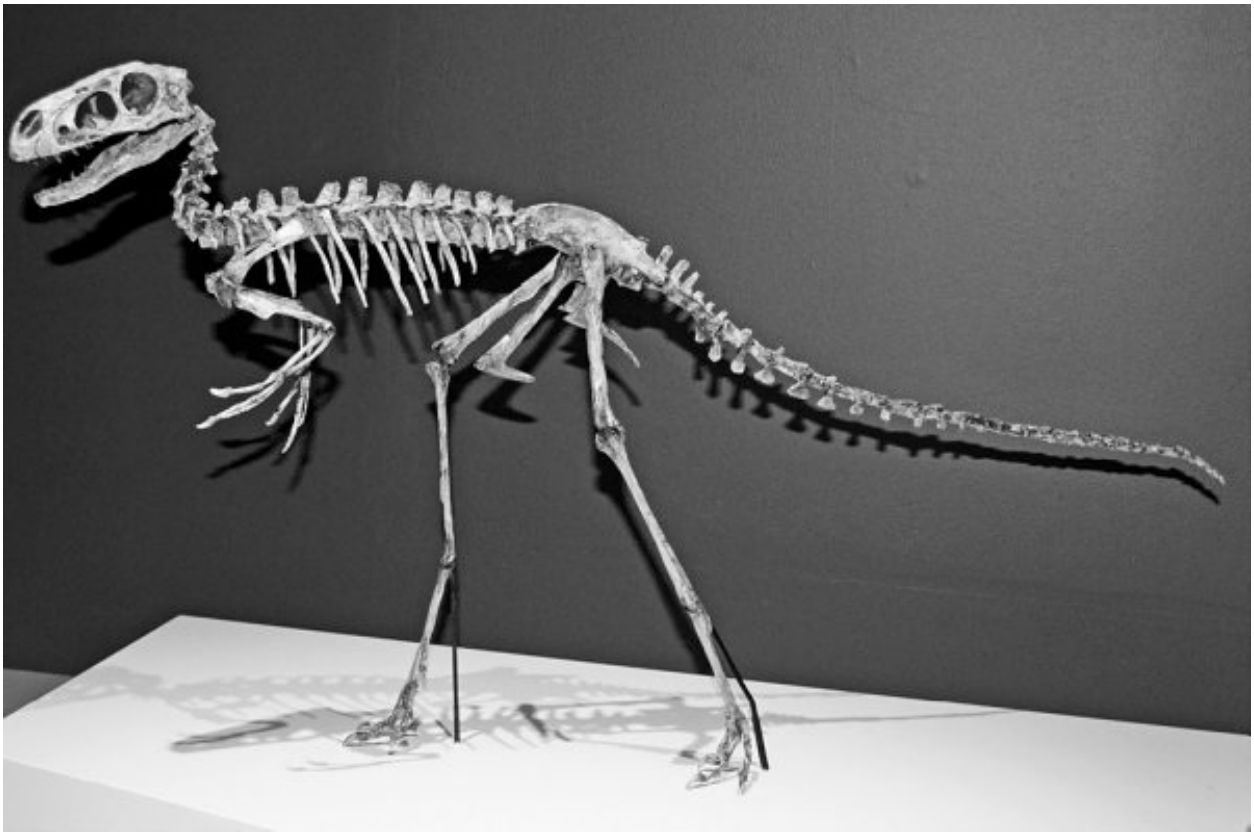
Guanlong tenía todo un arsenal de caza: velocidad, dientes aguzados y garras letales, pero no era un depredador culminal. Vivió junto con carnívoros mucho mayores, como *Monolophosaurus*, que medía más de cuatro metros y medio de longitud, y *Sinraptor*, un primo cercano de *Allosaurus*, de nueve metros de largo, que pesaba más de una tonelada. *Guanlong* estuvo a la sombra de dichos animales, y probablemente también atemorizado por ellos. En el mejor de los casos, *Guanlong* era un depredador en el segundo o en el tercer nivel, un eslabón discreto en una cadena trófica dominada por otros dinosaurios. Lo mismo podría decirse de *Kileskus* y de algunos otros de los tiranosaurios pequeños y primitivos que se han encontrado en tiempos recientes, como el más pequeño de todos, *Dilong*, hallado en China y del tamaño de un galgo, o *Proceratosaurus*, un dinosaurio descubierto hace algo más de un siglo en Inglaterra y que solo en fecha reciente se reconoció como un tiranosaurio arcaico, debido a que posee una cresta de mohicano similar a la de *Guanlong*.

Quizá estos dinosaurios menudos no fueron nada espectaculares ni habrían

aparecido en las pesadillas de nadie, pero es evidente que hicieron algo bien. Cuantos más fósiles encontramos, más nos damos cuenta del éxito que tuvieron. Hubo muchos de ellos, distribuidos por todo el mundo durante los aproximadamente 50 millones de años desde mediados del periodo Jurásico hasta bien entrado el Cretácico, desde hace unos 170 hasta hace unos 120 millones de años. Es incuestionable que sobrevivieron a aquel cóctel de cambios ambientales y climáticos que acabó con *Allosaurus*, los saurópodos y los estegosaurios en la frontera entre el Jurásico y el Cretácico. Ahora tenemos sus fósiles por toda Asia, en múltiples localidades de Inglaterra, en el oeste de Estados Unidos y es probable que incluso en Australia. Pudieron expandirse tanto porque vivieron cuando el supercontinente Pangea todavía se estaba dividiendo, lo que significa que podían pasar con facilidad por los puentes que aún existían entre los continentes, los cuales habían de desplazarse aún unos de otros por mucha distancia. Estos primitivos tiranosaurios se habían forjado un nicho como depredadores de tamaño pequeño a medio que vivían en el sotobosque, una situación a la que se adaptaron muy bien.



Cráneo del tiranosaurio primitivo *Guanlong*, del tamaño de un humano, que muestra la llamativa cresta de hueso sobre la cabeza.



Esqueleto del dinosaurio primitivo *Dilong*, del tamaño de un perro.

Sin embargo, en algún momento, los tiranosaurios cambiaron de meros actores de reparto a los célebres depredadores culminales que tanto nos gustan. Los primeros indicios de esta transformación se encuentran en los fósiles de inicios del Cretácico, hace unos 125 millones de años. La mayoría de los tiranosaurios que vivieron en esta época eran pequeños. El diminuto *Dilong* es el ejemplo más extremo, pues en la balanza apenas debía de pesar más de ocho kilogramos. Algunos eran un poco más grandes, como *Eotyrannus*, de Inglaterra, y algunos de sus primos más antiguos, como *Juratyrant* y *Stokesosaurus*, que eran más corpulentos que *Dilong*, *Guanlong*

y *Kileskus* y quizá alcanzaban una longitud de tres a tres metros y medio y un peso de unos cuatrocientos kilogramos. Si hubiéramos estado allí por aquel entonces, y estos tiranosaurios de tamaño medio hubieran cooperado, podríamos haber cabalgado sobre ellos como si fueran caballos, pero seguían sin estar situados en la cima de la cadena trófica.

Entonces, en 2009, apareció otra pieza del rompecabezas; un equipo de científicos chinos describió un fósil absolutamente insólito encontrado en el rincón nordoriental del país, al que llamaron *Sinotyrannus*. Como suele ocurrir, el nuevo dinosaurio era fragmentario; solo se había conservado una pequeña colección de huesos, entre ellos la parte frontal del hocico y la mandíbula inferior, algunas porciones de la columna vertebral y algunos fragmentos de la mano y de la pelvis. Estos huesos eran realmente parecidos a los de *Guanlong*, así como a los de *Kileskus*, que se describiría algunos meses después. Podía verse la base de una alta cresta ósea donde la región del hocico estaba rota, la abertura nasal era enorme y había una profunda depresión de un seno encima de los dientes. Pero también había una diferencia importante, ya que *Sinotyrannus* era sustancialmente mayor que *Guanlong*. Sobre la base de las comparaciones con los huesos de otros dinosaurios carnívoros, se estimó que este nuevo depredador habría tenido unos nueve metros de largo y que quizá pesaba una tonelada, lo que equivaldría a un mínimo de diez *Guanlong*. Con unos 125 millones de años de antigüedad, *Sinotyrannus* era el ejemplo más antiguo de un tirano de gran tamaño que se hubiera encontrado.

Leí el anuncio de la nueva especie cuando hacía el posgrado, aproximadamente un año después de haber iniciado el proyecto de mi tesis doctoral sobre la evolución de los dinosaurios carnívoros. Para mí era evidente que se trataba de un tiranosaurio y que era de gran tamaño, pero no sabía qué más deducciones se podían hacer. Los fósiles eran demasiado

fragmentarios para saber con seguridad lo grande que era o para situarlo de manera precisa en el árbol genealógico. ¿Acaso era un pariente muy cercano de *T. rex*, el primer miembro de aquel grupo de carnívoros realmente grandes, de cráneo alto y de brazos diminutos, como *Tyrannosaurus*, *Tarbosaurus*, *Albertosaurus* o *Gorgosaurus*, que dominaron el final mismo del Cretácico, desde hace 84 millones de años hasta hace 66? Si así fuera, quizá nos pudiese hablar de cómo estos dinosaurios icónicos se hicieron tan enormes y llegaron a dominar de tal modo. Pero ¿había algo más? Quizá era tan solo un tiranosaurio primitivo más grande que sus contemporáneos. Después de todo, *Sinotyrannus* vivió unos 60 millones de años antes de *T. rex*, una época en la que cada uno de los tiranosaurios conocidos habrían cabido en el área de carga de una camioneta.

Cráneo de *Gorgosaurus*, un tiranosaurio de cuerpo grande, de finales del Cretácico, estrechamente emparentado con *T. rex*.

¿Podría este único hallazgo reescribir realmente la historia de los tiranosaurios? Yo tenía la desazonadora sensación de que este fósil iba a seguir siendo un problema durante mucho tiempo. Es algo que ocurre con demasiada frecuencia en el campo de la investigación sobre dinosaurios: aparece un único fósil que da indicios de una historia evolutiva de la mayor importancia —el miembro más antiguo de un grupo más amplio, o el primer fósil del que se deduce un comportamiento singular o que contiene un rasgo del esqueleto de gran relevancia—, pero que está demasiado ajado o incompleto como para tener total seguridad, o bien datado de forma imprecisa. Luego no se vuelve a encontrar otro fósil similar y la cosa se deja correr, el caso queda abierto, a la espera de que pueda resolverse.

Pero no debería haber sido tan pesimista. Solo tres años después, desde China, Xu Xing, el hombre que había descrito a *Guanlong* y *Dilong*, publicó un artículo sensacional en la revista *Nature*. Junto con su equipo, anunció un nuevo dinosaurio, al que denominaron *Yutyrannus*. Tenían a su disposición más que solo unos pocos huesos: tenían esqueletos, tres de ellos. Se trataba, sin duda, de un tiranosaurio y era muy parecido a *Sinotyrannus*. Había semejanzas en el tamaño y también en los huesos; *Yutyrannus* poseía una vistosa cresta cefálica y unos enormes orificios nasales, y al igual que aquel, tenía un tamaño considerable, ya que el esqueleto de mayor envergadura medía unos nueve metros de largo. No se trataba de una estimación, ya que Xu y su equipo pudieron tomar una cinta métrica y medir su nuevo dinosaurio, en lugar de tener que emplear ecuaciones matemáticas para conjeturar el tamaño de un hipotético esqueleto completo sobre la base de solo unos pocos huesos fragmentados, único recurso con el que pudimos contar en el caso de *Sinotyrannus*. Así, *Yutyrannus* zanjaba la cuestión; había tiranosaurios de gran tamaño en el Cretácico temprano, al menos en China.

Había otra peculiaridad acerca de *Yutyrannus*. Los esqueletos se conservaban tan bien que podían observarse detalles del tejido blando. Por lo general, la piel, los músculos y los órganos se descomponen mucho antes de que un fósil quede sepultado en la piedra, con lo que quedan solo las partes duras, como huesos, dientes y caparazones. Con *Yutyrannus* tuvimos suerte, ya que estos restos quedaron enterrados tan rápidamente después de una erupción volcánica que algunos tejidos no se descompusieron. Pegados alrededor de los huesos había grupos densos de filamentos delgados, cada uno de ellos de unos quince centímetros de largo. Estructuras similares se conservaban en *Dilong*, mucho más pequeño, que se encontró en la misma unidad rocosa en China nordoriental.

Eran plumas. No como las plumas primarias que constituyen las alas de las aves actuales, sino unas más simples, más parecidas a mechones de pelo. Se trata de las estructuras ancestrales a partir de las cuales evolucionaron las plumas de los pájaros, y ahora se sabe que muchos dinosaurios, quizá todos, las tenían. *Yutyrannus* y *Dilong* dejan establecido sin lugar a dudas que los tiranosaurios se contaban entre los dinosaurios emplumados. A diferencia de las aves, los tiranosaurios no volaban, desde luego. En lugar de ello, es probable que usasen las plumas para exhibirse o para mantenerse calientes. Y puesto que tanto un tiranosaurio de gran tamaño del tipo de *Yutyrannus* como uno pequeño como *Dilong* poseían plumas, esto implica que el antepasado común de todos los tiranosaurios tenía plumas, por lo que el propio gran *Tyrannosaurus rex*, con toda probabilidad, también era emplumado.

Los esqueletos cubiertos de pelusa de *Yutyrannus* proyectaron a este nuevo dinosaurio al estrellato en la prensa internacional, pero las plumas son una cuestión a la que volveremos más adelante. Para mí, la importancia real de este dinosaurio era que podía ayudarnos a comprender mejor cómo habían evolucionado los tiranosaurios hasta alcanzar su enorme tamaño. *Yutyrannus*

y *Sinotyrannus* eran grandes, mucho mayores que cualquier otro tiranosaurio que viviera antes de que *T. rex* y sus hermanos reinasen de manera suprema, durante el final del Cretácico. Sin embargo, estos dos tiranosaurios chinos no eran realmente colosales, ya que tenían un tamaño aproximadamente igual al de *Allosaurus* o al del gran depredador *Sinraptor*, que contaba con *Guanlong* entre sus presas y que no se aproximaba en absoluto a la longitud corporal de doce metros y al peso de siete toneladas de *T. rex* y de sus parientes más cercanos. Pero, además, cuando se comparan hueso a hueso los esqueletos completos de *Yutyrannus* con los de *T. rex*, resulta evidente que son muy distintos. El primero parece una versión mayor de *Guanlong*, con esa cresta ornamental en la cabeza, los grandes orificios nasales y las largas manos de tres dedos. No posee el cráneo alto y muscular, ni los dientes como las gruesas escarpias de las vías férreas, ni los patéticos brazos de *T. rex*.

Esto nos lleva a una conclusión inesperada, la de que, a pesar de tener un cuerpo enorme, *Yutyrannus* y *Sinotyrannus* no estaban estrechamente emparentados con *T. rex* y no tenían mucho que ver con la evolución hasta los tamaños colosales de los tiranosaurios del Cretácico tardío. Más bien, eran tiranosaurios primitivos en los que se dio un aumento de tamaño con independencia de lo que iba a ocurrir con primos posteriores. Dicho de otra manera, fueron callejones evolutivos sin salida que, por lo que sabemos, no existieron más allá de un rincón de China durante el Cretácico temprano. Desde luego, esta afirmación puede demostrarse errónea con nuevos descubrimientos. Vivieron junto a tiranosaurios más pequeños, que eran, con mucho, el tipo más común que prosperaba en las épocas del Jurásico y del Cretácico temprano.

Aunque no son ancestros directos de *T. rex*, *Yutyrannus* y *Sinotyrannus* están lejos de carecer de importancia. Estas especies del Cretácico temprano demuestran que los tiranosaurios evolucionaron a tamaños más grandes desde

muy pronto. *Yutyrannus* y *Sinotyrannus* eran, hasta donde sabemos, los mayores depredadores de los ecosistemas en los que habitaban. Se situaban en la cumbre de la cadena trófica, eran los señores de un bosque frondoso, húmedo en verano, expuesto a quedar cubierto por la nieve en invierno, que se aferraba a las laderas de volcanes escarpados, animado por los gorjeos de aves primitivas y de dinosaurios raptores con plumas. Podían elegir entre varias presas, como saurópodos cuellilargos y corpulentos, si se sentían particularmente hambrientos, o una profusión de herbívoros con pico, del tamaño de ovejas, llamados *Psittacosaurus*, primos primitivos de *Triceratops*, que 60 millones de años más tarde se enfrentarían al mismo *T. rex* en las llanuras de inundación del oeste de Norteamérica.

En otros lugares, separados en el tiempo y en el espacio de los bosques chinos del Cretácico temprano, en los que las especies de tiranosaurios eran de tamaño pequeño o mediano, estas resultaban empequeñecidas por depredadores de mayor envergadura. *Sinraptor* sobrepasaba a *Guanlong* en el Jurásico medio de China. *Allosaurus* era mucho más muscular que el tiranosaurio *Stokesosaurus*, del tamaño de una mula, en el Jurásico tardío de Norteamérica. El carcarodontosaurio *Neovenator* reprimió a *Eotyrannus* en el Cretácico temprano en Inglaterra. Y existen muchos más ejemplos. Parece que los tiranosaurios podrían hacerse grandes si se daba la oportunidad, pero solo si no había grandes depredadores en el entorno.

Sigue abierta la pregunta de cómo se dispararon *T. rex* y sus parientes más cercanos hasta aquellos tamaños tan alucinantes. Hay que contemplar el registro fósil para ver cuándo surgieron los primerísimos tiranosaurios enormes de verdad, con el plan corporal clásico de *T. rex*. Me refiero a tiranosaurios con los más de diez metros y medio y la tonelada y media de

peso, el cráneo alto y grande, las mandíbulas musculares, los dientes del tamaño de plátanos, los brazos patéticos y los músculos voluminosos de las piernas que definen a *T. rex*.

Este tipo de tiranosaurios —verdaderos gigantes, sin duda depredadores culminales de tamaño récord— hizo su primera aparición en el oeste de Norteamérica hace entre 84 y 80 millones de años. Una vez que empezaron a aparecer, proliferaron por todas partes, tanto en Norteamérica como en Asia. Era evidente que había tenido lugar una diversificación explosiva.

Sabemos que el gran cambio ocurrió en algún momento en la parte media del Cretácico, entre hace 110 y 84 millones de años. Antes de esa época, había muchos tiranosaurios pequeños o de tamaño medio por todo el mundo, con solo unas pocas especies aleatorias de mayor tamaño como *Yutyrannus*. En lo posterior, hubo tiranosaurios enormes reinando en Norteamérica y Asia, pero solo en estos continentes, y no quedó ninguna especie cuyo tamaño fuese inferior al de un minibús. Se trató de un cambio espectacular, uno de los mayores de toda la historia de los dinosaurios. Resulta frustrante que muy pocos fósiles registren lo que ocurrió. El Cretácico medio es algo así como un periodo oscuro de la evolución de los dinosaurios. Por pura mala suerte, se han encontrado muy pocos fósiles de este periodo de 25 millones de años. De modo que aquí estamos, rascándonos la cabeza, como un detective al que se le haya encargado resolver un caso sin que se conserven en la escena del crimen huellas, muestras de ADN ni pruebas tangibles de ningún tipo.

Lo que podemos decir, sobre la base de nuestro conocimiento cada vez mayor de cómo era la Tierra durante el Cretácico medio, es que resulta probable que no fuera una buena época para ser dinosaurio. Hace unos 94 millones de años, entre las divisiones Cenomaniense y Turoniense del periodo Cretácico, hubo un espasmo en forma de cambio ambiental. Las

temperaturas se dispararon, los niveles del mar oscilaron de forma violenta y las profundidades del océano quedaron privadas de oxígeno. Todavía no sabemos por qué ocurrió, pero una de las principales teorías es que un aumento repentino de la actividad volcánica expulsó a la atmósfera enormes cantidades de dióxido de carbono y otros gases perniciosos, lo que causó un efecto invernadero galopante y envenenó el planeta. Fueran cuales fueran las causas, estos cambios ambientales desencadenaron una extinción en masa. No fue tan devastadora como las del final de los periodos Pérmico y Triásico, que ayudaron a que los dinosaurios se hicieran dominantes, sino algo más parecido a lo que había ocurrido en la frontera entre el Jurásico y el Cretácico. Aun así, fue una de las peores extinciones en masa de la Edad de los Dinosaurios. Muchos invertebrados oceánicos desaparecieron para siempre, como también lo hicieron varios tipos de reptiles.

La extrema pobreza del registro fósil del Cretácico medio ha dificultado saber de qué manera afectaron estos dramas ambientales a los dinosaurios. Sin embargo, en tiempos recientes los paleontólogos han conseguido importantes especímenes nuevos de este lapso. Se da una pauta clara, y es que ninguno de los grandes depredadores de esta ventana temporal de veinticinco millones de años es un tiranosaurio. Todos pertenecen a otros grupos de grandes carnívoros, como los ceratosaurios, los espinosaurios y especialmente los carcarodontosaurios. Este último grupo de ultradepredadores que, como hemos visto en el capítulo anterior, fueron los dueños absolutos del Cretácico temprano, continuaron su reinado hasta bien entrado el Cretácico medio. El carcarodontosaurio *Siats*, de diez metros y medio de largo, era el depredador culminal en Norteamérica occidental hace unos 98,5 millones de años. En Asia, *Chilantaisaurus*, del tamaño de *T. rex*, y *Shaochilong*, más pequeño, eran los principales depredadores hace unos 92 millones de años, y en Sudamérica, carcarodontosaurios como *Aerosteon*

reinaron hace unos 85 millones de años.

Los tiranosaurios que vivieron junto con estos carcarodontosaurios, por otra parte, no eran todavía muy especiales, al menos en lo que respecta al aspecto externo. No tenemos muchos fósiles suyos, pero en los últimos tiempos han comenzado a aparecer algunos. Los mejores proceden de Uzbekistán, donde Sasha Averianov y su colega Hans-Dieter Sues —un paleontólogo alemán con una sonrisa permanente y una carcajada absolutamente contagiosa, que en la actualidad es investigador jefe del Instituto Smithsonian— han trabajado durante más de una década, en el inhóspito desierto de Kyzyl Kum.

La caja de la era soviética que Sasha me entregó con celo hace unos años contenía algunos de estos huesos. La razón por la que me los llevé a Edimburgo para someterlos a un TAC fue que dos de estos especímenes eran sendas cajas craneales: un rompecabezas de huesos fusionados que hay en la parte posterior del cráneo y que rodea el cerebro y el oído. Si se quiere ver el interior, las cavidades que albergaron el cerebro y los órganos de los sentidos, se puede abrir con una sierra, que es lo que Osborn hizo con el primer cráneo de *T. rex*, dañándolo para siempre en nombre de la ciencia. En la actualidad podemos emplear el escáner y sus potentes rayos X sin necesidad de causar daños. Cuando escaneamos los neurocráneos uzbecos, confirmamos que pertenecían a tiranosaurios, pues tenían la misma arquitectura ósea que rodea la espina dorsal y la misma cavidad cerebral larga y en forma de tubo de *T. rex*, *Albertosaurus* y otros tiranosaurios. También tenían un oído medio con una cóclea muy larga, otra característica distintiva de los tiranosaurios, que permitía a estos depredadores percibir mejor los sonidos de baja frecuencia. Sin embargo, el tiranosaurio uzbeco seguía siendo un Mini-Yo del tamaño de un caballo.

En la primavera de 2016, Sasha, Hans y yo le dimos un nombre científico

formal, *Timurlengia euotica*, en honor a Timur, también conocido como Tamerlán, el famoso señor de la guerra de Asia Central que gobernó Uzbekistán, así como muchos de los países circundantes, en el siglo XIV. Es un nombre adecuado para un tiranosaurio, incluso para uno de tamaño medio que se encontraba todavía algunos escalones por debajo de la cumbre de la escala trófica. Aunque no era un coloso, *Timurlengia* había desarrollado un cerebro mayor y unos sentidos más refinados que otros tiranosaurios carnívoros, un olfato, una vista y un oído aumentados, adaptaciones que al final resultarían ser unas armas útiles de depredación para los enormes tiranosaurios que aparecerían más adelante. Parece que el grupo tendía a espabilar antes que a aumentar de tamaño, pero, con independencia de lo listos que fueran, *Timurlengia* y sus camaradas aún vivían bajo el control de los verdaderos señores de la guerra del Cretácico medio, los carcarodontosaurios.

Entonces, en el momento en que el reloj llegó a los 84 millones de años antes del presente, cuando el registro fósil vuelve a enriquecerse, los carcarodontosaurios habían desaparecido en Norteamérica y Asia, sustituidos por monstruosos tiranosaurios. Había tenido lugar un reemplazo evolutivo importante. ¿Se debió a los efectos prolongados de los cambios de temperatura y del nivel del mar que tuvieron lugar en el límite entre el Cenomaniense y el Turoniense? ¿Fue repentino o gradual? ¿Acaso los tiranosaurios superaron activamente a los carcarodontosaurios, empujándolos a la extinción o superándolos en inteligencia gracias a un cerebro mayor y a unos sentidos más desarrollados? ¿O bien los cambios ambientales provocaron que estos otros grandes depredadores se extinguieran, pero no afectaron a los tiranosaurios, que entonces adoptaron de manera oportunista el papel de grandes depredadores? Resulta que no tenemos suficientes pruebas para saberlo con certeza, pero, sea cual sea la respuesta, no puede

negarse que al inicio de la edad Campaniense del Cretácico tardío, que empezó hace unos 84 millones de años, los tiranosaurios se habían elevado hasta la cima de la pirámide alimentaria.

Durante los últimos 20 millones de años del Cretácico, los tiranosaurios florecieron y dominaron los valles fluviales, las riberas lacustres, las llanuras de inundación, los bosques y los desiertos de Norteamérica y Asia. Su aspecto característico, con una cabeza enorme, un cuerpo atlético, unos brazos lamentables, unas piernas musculosas y una cola alargada, no deja lugar a dudas. Mordían con tal fuerza que trituraban los huesos de su presa; crecían tan deprisa que aumentaban del orden de dos kilogramos al día durante sus años de adolescencia, y tenían una vida tan dura que todavía no hemos encontrado un individuo que tuviera más de treinta años de edad a su muerte. Y eran absolutamente diversos, ya que hemos encontrado cerca de veinte especies de estos tiranosaurios de grandes huesos del Cretácico tardío, y a buen seguro que todavía hay muchas más a la espera de ser descubiertas. *Qianzhousaurus*, el tiranosaurio de nariz de Pinocho descubierto de manera fortuita por el operario de la retroexcavadora, todavía anónimo, en la obra china, es uno de los últimos ejemplos. Tal como Brown y Osborn comprendieron hace más de cien años, como los primeros humanos en posar los ojos en un tiranosaurio, *Tyrannosaurus rex* y sus hermanos fueron los auténticos reyes del mundo de los dinosaurios.

El universo que domeñaron era muy diferente de aquel planeta en el que habían crecido sus ancestros. Cuando *Kileskus*, *Guanlong* y *Yutyrannus* acechaban a sus presas, el supercontinente Pangea apenas había empezado a dividirse, de modo que los tiranosaurios podían migrar fácilmente por toda la Tierra. Sin embargo, hacia el Cretácico tardío, los continentes ya estaban muy separados, alcanzando posiciones parecidas a las que ocupan hoy en día. Un mapa de esa época se habría parecido mucho al actual. Pero había algunas

diferencias importantes. Debido al aumento del nivel del mar en el Cretácico tardío, Norteamérica estaba cortada en dos por un brazo de mar que se extendía desde el Ártico hasta el golfo de México, y Europa, inundada, se reducía a unas pocas islas de pequeño tamaño. La Tierra de *T. rex* era un planeta fragmentado, con diferentes grupos de dinosaurios que vivían en áreas separadas. Como resultado, los campeones de una región podían no ser capaces de conquistar otra por la sencilla razón de que no podían llegar hasta ella. No parece que los tiranosaurios colosales consiguieran establecerse nunca en Europa o en los continentes meridionales, donde prosperaron otros grupos de grandes depredadores, pero en Norteamérica y Asia los tiranosaurios no tuvieron rivales. Se habían convertido en los terrores trascendentes que encienden nuestra imaginación.

6

El REY *de los* DINOSAURIOS

Tyrannosaurus rex

El *Triceratops* se encontraba a salvo. Se hallaba al otro lado del río, separado por rápidos infranqueables del peligro que se avecinaba en la orilla opuesta. Pero podía ver lo que estaba a punto de ocurrir y era incapaz de detenerlo.

A no más de quince metros de distancia, sobre un saliente de arena y fango que se proyectaba hacia el otro lado del agua, se entretenía un grupo de tres *Edmontosaurus*. Arrancaban hojas de los matorrales floridos que se aferraban a la costa con los agudos picos parecidos a los de un pato. Mecían las mejillas, llenas de comida, en un movimiento masticatorio. El sol de las últimas horas de la tarde centelleaba sobre las corrientes, y los silbidos de los pájaros situados en lo alto de los árboles radiaban paz y calma.

Pero no todo iba bien. En la orilla lejana, el *Triceratops* advertía algo que el rebaño de *Edmontosaurus* no podía ver: otro animal, que se escondía entre los árboles más altos en el linde de la jungla donde esta se encontraba con la barra de arena, con la piel escamosa y verde casi perfectamente camuflada. Los ojos lo delataban, dos esferas bulbosas que brillaban con expectación. Se movían rápidamente de izquierda a derecha, en intervalos de fracciones de segundo, vigilando a los tres masticadores de plantas desprevenidos, a la espera del momento adecuado.

Y este llegó, en una explosión de violencia.

El monstruo de piel verde y ojos rojos se precipitó fuera de la maleza para salir al paso de los herbívoros. Era una visión terrorífica: el depredador acechante era más largo que un autobús urbano. Alcanzaba los trece metros de longitud y pesaba al menos cinco toneladas. De las escamas del cuello y del dorso sobresalía pelusa, un vello miserable e hirsuto. Tenía una cola larga

y musculosa, unas piernas corpulentas y unos brazos ridículamente minúsculos colgando a los lados mientras se abalanzaba de cabeza hacia el rebaño de *Edmontosaurus* con las fauces abiertas.

Al abrir la boca, dejó ver los alrededor de cincuenta dientes puntiagudos que se alojaban en el interior, cada uno de ellos del tamaño de una escarpia de vía férrea. Se cerraron sobre la cola de uno de los *Edmontosaurus*, y la cacofonía del hueso aplastado y de los gritos de angustia reverberó por todo el bosque.

Desesperado, el *Edmontosaurus* objeto del asalto consiguió liberarse y anadeó hasta llegar a los árboles, con la cola cortada colgando tras él y con un diente roto del depredador clavado como una marca de la lucha. ¿Sobreviviría o sucumbiría a las heridas en las profundidades ocultas del bosque? El *Triceratops* no lo sabría nunca.

Molesta por el fracaso del ataque, la bestia dirigió la atención al más pequeño de los pico de pato, pero el joven se marchaba corriendo hacia el interior del bosque, esquivando troncos y matorrales a velocidad de carrera. El voluminoso carnívoro se dio cuenta de que no tenía posibilidades de atraparlo y emitió un gemido de frustración, surgido de lo más hondo de su garganta.

Todavía quedaba un *Edmontosaurus*, arrinconado en la barra de arena, entre el agua y el monstruo ávido de carne. Cuando el depredador giró la cabeza en dirección al río, ambos se miraron a los ojos. La huida era imposible, de manera que ocurrió lo inevitable.

La cabeza se abalanzó hacia delante. La dentellada encontró la carne. Los huesos se quebraron cuando el cuello del herbívoro quedó hecho jirones; la sangre se derramó hacia el agua y se mezcló con las blancas corrientes de espuma, al tiempo que los dientes rotos del depredador llovían a medida que este desgarraba a su víctima.

Después, en el interior del bosque se produjo un ruido de crujidos. Las ramas se quebraban y las hojas salían volando. El *Triceratops* observaba impresionado cuando otras cuatro bestias verdes, de enorme cabeza y dientes como escarpias, casi idénticos en tamaño y forma al primero, aparecieron sobre la orilla del río. Era una manada; el atacante era el líder y ahora los subordinados venían a compartir la victoria. Los cinco animales hambrientos resoplaban y gruñían, mordisqueándose unos a otros la cara mientras competían por los mejores tajos de carne.

Desde la comodidad de la orilla opuesta, el *Triceratops* sabía bien qué era lo que veía. Porque lo había vivido antes; en una ocasión, se había librado de las fauces de uno de aquellos asesinos voraces, al que había corneado con uno de sus cuernos hasta que la bestia lo liberó del agarre. Todos los *Triceratops* conocían a aquel depredador feroz. Era su gran rival, el terror que surgía como un fantasma desde los árboles y masacraba rebaños enteros. Era *Tyrannosaurus rex*, el rey de los dinosaurios, el mayor depredador que ha vivido en tierra firme en los 4.500 millones de años de historia del planeta.

Tyrannosaurus rex es un personaje célebre, protagonista habitual de numerosas pesadillas, pero también fue un animal real. Los paleontólogos saben mucho de él, como qué aspecto tenía, el modo en que se desplazaba, respiraba y percibía el mundo, qué comía, cómo crecía y por qué pudo llegar a hacerse tan grande. En parte, se debe a que tenemos muchos fósiles: una cincuentena de esqueletos, algunos casi completos, más de los que existen casi para cualquier otro dinosaurio. Pero más que nada la razón está en que muchos científicos se sienten atraídos de forma impulsiva hacia la majestad del «rey», de la misma manera que muchas personas están obsesionadas con las estrellas de cine o con los deportistas. Cuando los científicos nos

encaprichamos con algo, empezamos a juguetear con todo instrumento, experimento u otro tipo de análisis a nuestro alcance. Hemos sometido a *T. rex* a toda nuestra caja de herramientas: TAC para observar las cavidades del cerebro y de los órganos de los sentidos, animaciones de ordenador para comprender su postura y locomoción, programas informáticos ingenieriles para establecer modelos de alimentación, estudios microscópicos de los huesos para ver cómo crecía… y la lista sigue. Como resultado, sabemos más de este dinosaurio del Cretácico que de muchos animales actuales.

¿Cómo era *T. rex* como animal vivo que respiraba, se alimentaba, se desplazaba y crecía? Permítame el lector que le ofrezca una biografía no autorizada del rey de los dinosaurios.

Empecemos con las estadísticas vitales.

No hace falta decirlo, pero *T. rex* era enorme; los adultos tenían unos trece metros de largo y se estima que pesaban siete u ocho toneladas, en virtud de aquellas ecuaciones que hemos visto unos capítulos atrás con las que se calcula el peso del cuerpo a partir del grosor del fémur. Se trata de unas proporciones fuera de lo común para los dinosaurios carnívoros. Los amos del Jurásico —el carnicero *Allosaurus*, *Torvosaurus* y sus parientes— crecían hasta los diez metros de largo y pesaban unas pocas toneladas; eran monstruos, desde luego, pero nada que se acercara a *rex*. Después de que los cambios de temperatura y del nivel del mar dieran paso al Cretácico, algunos carcarodontosaurios de África y Sudamérica crecieron aún más que sus predecesores del Jurásico. *Giganotosaurus*, por ejemplo, era casi tan largo como *T. rex*, y quizá alcanzó las seis toneladas. Pero sigue siendo una o dos más liviano que *rex*, de manera que este no tiene competidores para el título de animal puramente carnívoro mayor que cualquier otro que viviese en tierra firme durante la era de los dinosaurios o, de hecho, en cualquier época de la historia de nuestro planeta.

Esqueleto de *Tyrannosaurus rex* en el Museo Americano de Historia Natural, en Nueva York. *Museo Americano de Historia Natural*.

Imagen #00005493, Biblioteca del Museo Americano de Historia Natural

Si se muestra una imagen de *T. rex* a unos niños de párvulos, sabrán lo que es de inmediato. Tiene un estilo característico, un físico único o, en la jerga científica, un plan corporal distintivo. La cabeza era enorme, posada sobre un cuello corto y robusto, como el de un culturista. La descomunal cocorota se estabilizaba gracias a una cola larga y ahusada, que se proyectaba en horizontal, como un balancín. *Rex* se mantenía nada más que sobre las patas traseras, y los muslos y las pantorrillas musculosos impulsaban sus movimientos. Se mantenía en equilibrio sobre la punta de los pies, como si fuera una bailarina, y el arco o planta del pie rara vez tocaba el suelo, de manera que sus tres dedos enormes mantenían todo el peso. Las extremidades anteriores parecían inútiles, unas cosas esmirriadas con dos dedos regordetes, cómicamente desproporcionadas en relación con el resto del cuerpo. Este no era grueso como el de los saurópodos cuellilargos, pero tampoco mostraba la complexión delgada de un corredor como *Velociraptor*. Era el tipo corporal propio de *T. rex*.

La potencia de *rex* radicaba en la cabeza. Era una máquina de matar, una cámara de tortura para las presas y una máscara del mal, todo en uno. De

aproximadamente un metro y medio de largo desde el hocico al oído, el cráneo tenía la longitud aproximada de una persona promedio. Más de cincuenta dientes aguzados como cuchillos que formaban una sonrisa siniestra, algunos muy pequeños para mordisquear, en la parte delantera del hocico, y una hilera de escarpias aserradas del tamaño y la forma de bananas que recorrían los lados de las mandíbulas superior e inferior. Los músculos que las abrían y cerraban sobresalían de la parte posterior de la cabeza cerca del agujero, del tamaño de un tapón de rosca, que alojaba el oído. Cada uno de los globos oculares era del tamaño de un pomelo. Delante de estos había un gran sistema de senos cubiertos de piel que ayudaba a aligerar la cabeza, y unos grandes cuernos carnosos en el extremo del hocico. Unos pequeños cuernos sobresalían delante y detrás de cada ojo, así como debajo de cada mejilla: unos botones nudosos de hueso cubiertos de queratina, el mismo material del que están constituidas nuestras uñas. ¿Puede imaginar el lector esta faz horrible como último recuerdo antes de que los dientes se cerraran triturándole y rompiéndole los huesos? Más de un dinosaurio encontró su fin de esta manera.

El cuerpo —la cabeza, los brazos pequeñitos, las piernas corpulentas y todo el tronco hasta la punta de la cola— estaba cubierto por un cuero escamoso y grueso. De esta manera, *T. rex* parecía un cocodrilo o una iguana de gran tamaño; tenía aspecto de lagarto. Pero había una diferencia clave, y es que *rex* tenía también unas plumas que le sobresalían entre las escamas. Tal como se ha mencionado en el capítulo anterior, no eran unas grandes plumas ramificadas como las de las alas de un ave, sino filamentos más sencillos, con un aspecto y un tacto más parecidos al del pelo; las más grandes eran tiesas como las púas de un puercoespín. Desde luego, *T. rex* no podía volar, como tampoco podían esos antepasados en los que aparecieron por evolución dichas protoplumas, en los primeros días de los dinosaurios.

No, como descubriremos más adelante, las plumas eran al principio unos simples mechones de integumento, que animales como *T. rex* empleaban para mantenerse calientes, así como para exhibirse, para atraer pareja e intimidar a los rivales. Los paleontólogos no han encontrado todavía ninguna pluma fosilizada en un esqueleto de *T. rex*, pero estamos seguros de que tuvo que haber poseído alguna de esas pelusas, porque se han encontrado tiranosaurios primitivos —como *Dilong* y *Yutyrannus*, a los que conocimos en el último capítulo— revestidos de plumas con aspecto de pelo, como ha ocurrido con otros muchos tipos de terópodos, conservados en las raras condiciones que permiten la fosilización de fragmentos blandos. Esto significa que los ancestros de *T. rex* tenían plumas, de modo que es muy probable que *rex* también las tuviera.

T. rex vivió desde hace unos 68 hasta hace unos 66 millones de años, y su hábitat eran las llanuras costeras y los valles fluviales cubiertos de bosque del oeste de Norteamérica. Allí domeñaba en diversos ecosistemas, que incluían una abundancia de especies presa como *Triceratops*, que tenía cuernos por la cara; *Edmontosaurus*, de pico de pato; *Ankylosaurus*, que parecía un tanque; *Pachycephalosaurus*, de cabeza en domo, y muchos más. Los únicos que competían con él por el alimento eran los dromeosaurios, mucho más pequeños, dinosaurios raptores del tipo de *Velociraptor*, lo que quiere decir que no tenía mucha competencia.

Aunque en estos mismos entornos habían prosperado otros varios tiranosaurios durante los 10 a 15 millones de años anteriores, no eran los antepasados de *T. rex*. Sus primos más cercanos, por contra, eran especies asiáticas como *Tarbosaurus* y *Zhuchengtyrannus*. Resulta que *T. rex* era un inmigrante. Empezó su periplo en China o en Mongolia, saltó por el puente continental de Bering, viajó a través de Alaska y Canadá, y se abrió camino hacia el sur, en el corazón de lo que ahora son los Estados Unidos. Cuando el

joven *rex* llegó a su nuevo hogar, encontró que todo estaba dispuesto para instalarse. Se propagó por el oeste de Norteamérica, una plaga invasora que se extendió desde Canadá hasta Nuevo México y Texas, expulsando al resto de los dinosaurios depredadores, de los de tamaño medio a los más grandes, hasta que él solo controló todo un continente.

Después, llegó el día en que todo terminó. *T. rex* estaba allí cuando el asteroide cayó del cielo hace 66 millones de años, exterminando a todos los dinosaurios no voladores y poniendo un final violento al Cretácico. A esto ya llegaremos más adelante. Por ahora, solo importa un hecho: que el Rey se esfumó en la cima, en el culmen de su poder.

¿De qué festines gustaba el Rey? Sabemos que *T. rex* era un carnívoro de orden superior, un puro comedor de carne. La alimentación es una de las inferencias más sencillas que podemos hacer sobre cualquier dinosaurio, y no requiere ningún experimento sofisticado ni técnico para descubrirlo. *T. rex* tenía una boca llena de gruesos dientes aserrados y afilados como navajas. Las manos y pies presentaban garras grandes y puntiagudas. Lo cierto es que solo hay una razón por la que un animal pueda presentar estas características, y es que son armas, usadas para obtener y procesar carne. Uno no tiene dientes como cuchillos y dedos como garfios para comer repollos. Para quien aún pueda dudarlo, hay abundancia de otras pruebas; se han encontrado huesos conservados en el área del estómago de esqueletos de tiranosaurios, así como en los coprolitos (heces fosilizadas) de estos, y el oeste de Norteamérica está sembrado de esqueletos de dinosaurios herbívoros, en particular de *Triceratops* y *Edmontosaurus*, con señales de mordiscos que encajan perfectamente con el tamaño y la forma de los dientes de *T. rex*.

Como tantos monarcas, *rex* era un tragón. Se atiborraba de carne. Los

científicos han deducido cuánta comida necesitaría un *T. rex* adulto para sobrevivir, basándose en la ingesta alimentaria de los depredadores actuales, a la escala de un animal del tamaño de *rex*. Las cantidades estimadas provocan náuseas. Si *T. rex* tenía el metabolismo de un reptil, entonces habría necesitado unos cinco kilogramos y medio de chuletas de *Triceratops* al día. Pero es muy probable que se trate de un cálculo muy a la baja porque, como veremos más adelante, los dinosaurios eran mucho más aviares que reptilianos en el comportamiento y la fisiología, e incluso pudieron haber sido, al menos muchos de ellos, de sangre caliente, como nosotros. Si este fue el caso, entonces *rex* habría necesitado engullir unos ciento once kilogramos de manduca cada día. Esto supone muchas decenas de miles de calorías, quizá incluso cientos de miles, en función de la cantidad de grasa que al Rey le gustara que tuviera su bistec. Es aproximadamente la misma cantidad de alimento que comen tres o cuatro leones macho de tamaño grande, que son unos de los carnívoros modernos más activos y más hambrientos.

Quizá haya llegado a oídos del lector que a *T. rex* le gustaba la carne muerta y podrida, que era un carroñero, un recolector de cadáveres de siete toneladas, demasiado lento, demasiado estúpido o demasiado grande para cazar su propia comida fresca. Esta acusación parece hacer la ronda cada pocos años, uno de esos relatos de los que los periodistas científicos parecen no cansarse. No hay que creerlo. Va contra el sentido común que un animal ágil y activo con una cabeza dotada de dientes como cuchillos cuyo tamaño se acercaba al de un coche Smart no usara su bien dotada anatomía para abatir a las presas, sino que simplemente anduviera por ahí recogiendo las sobras. También se opone a lo que sabemos de los carnívoros modernos, pues muy pocos comedores de carne son carroñeros puros, y aquellos que lo hacen con efectividad —los buitres americanos, por ejemplo— son animales voladores que pueden inspeccionar áreas amplias desde arriba y descender en

picado cuando avistan o huelen un cadáver en descomposición. La mayoría de los carnívoros, por otra parte, cazan de forma activa, pero también carroñean siempre que tienen la oportunidad. Después de todo, ¿quién rechaza una comida gratis? Esto es así para leones, leopardos, lobos e incluso hienas, que no son los carroñeros puros de la leyenda, sino que de hecho obtienen gran parte de su comida mediante la caza. Al igual que estos animales, es probable que *T. rex* fuera tanto un cazador como un carroñero oportunista.

¿Duda todavía el lector de que *rex* fuera capaz de obtener su propia comida? Existe evidencia fósil de que *T. rex* cazaba, al menos durante parte del tiempo. Muchos de los huesos de *Triceratops* y *Edmontosaurus* con impresiones de dientes de *T. rex* muestran señales de curación y recuperación del tejido, de modo que fueron atacados con vida y sobrevivieron. El más sugerente de estos especímenes es un conjunto de dos huesos caudales de *Edmontosaurus* fusionados con un diente de *T. rex* que hay clavado entre ellos, envueltos por la masa retorcida del tejido cicatricial que los soldó al curarse. El pobre dinosaurio de pico de pato recibió el violento ataque de un tiranosaurio que se saldó con una herida terrible, pero conservó como trofeo de esa experiencia casi mortal un diente del depredador.

La mayoría de las marcas de dientes de *T. rex* son peculiares. La mayoría de terópodos dejaron rastros simples de alimentación sobre los huesos de las presas, como rasguños largos, paralelos y superficiales, lo que indica que los dientes apenas tocaban el hueso. Esto no es sorprendente, porque, aunque los dinosaurios podían cambiar los dientes a lo largo de toda la vida, a diferencia de lo que nos ocurre a nosotros, ningún depredador querría romperse los colmillos cada vez que comiera. Pero *T. rex* era diferente. Las marcas de sus mordeduras son más complejas, empiezan con una profunda perforación circular, como un agujero de bala, que pasa a un surco alargado. Esta es una

señal de que *rex* mordía profundamente a la víctima, a menudo directamente a través de los huesos, y después desgarraba. Los paleontólogos han establecido un término especial para esa forma de comer; «alimentación de perforación y tirón». En el momento de perforación de la mordida, *rex* aplicaba una fuerza suficiente para romper literalmente los huesos de la presa. Esta es la razón por la que los montones de heces fosilizadas que dejaba *T. rex* están llenos por completo de fragmentos de hueso. Triturar los huesos no es lo normal; algunos mamíferos, como las hienas, lo hacen, pero la mayoría de los reptiles modernos no. Hasta donde sabemos, los grandes tiranosaurios como *T. rex* eran los únicos dinosaurios capaces de hacerlo. Era una de las habilidades que hacían del Rey la máquina de matar definitiva.

¿Cómo era posible? Para empezar, contaba con unos dientes perfectamente adaptados, gruesos y en forma de escarpia, lo bastante fuertes para no romperse con facilidad cuando impactaban contra un hueso. A continuación, consideremos la potencia detrás de dichos dientes; los voluminosos músculos de las mandíbulas de *T. rex* se constituían de acúmulos abultados de tendones, que proporcionaban energía suficiente para destrozar las extremidades, el dorso y el cuello de *Triceratops*, *Edmontosaurus* y otras presas. Podemos decir que *rex* poseía uno de los conjuntos de músculos mandibulares mayores y más potentes de los dinosaurios, sobre la base de las depresiones muy amplias y profundas de los huesos del cráneo, donde se fijaban los músculos.

Es posible hacer simulaciones experimentales del modo de actuación de estos músculos. Uno de mis colegas, Greg Erickson, de la Universidad Estatal de Florida, diseñó un experimento particularmente ingenioso a mediados de la década de los noventa, justo después de terminar los estudios de posgrado. Greg es una de las personas con las que más me gusta pasar el rato; habla con la cadencia de un deportista de instituto, y a veces parece que

se mete en el papel, con su vieja gorra de béisbol y una cerveza fría en la mano. Hace algunos años, Greg era contertulio habitual en un programa de televisión por cable sobre extraños incidentes con animales, como caimanes que salían de las cloacas e invadían aparcamientos de caravanas y ese tipo de cosas. Dejando aparte lo muy divertido que es Greg, lo admiro profundamente como científico, porque aporta un enfoque diferente a la paleontología: experimental, cuantitativo, con base en comparaciones rigurosas con animales modernos.

Pasa mucho tiempo con ingenieros, y un día se les ocurrió una idea loca: prepararían una versión de laboratorio de *T. rex* y determinarían lo fuerte que era su mordedura. Empezaron con una pelvis de *Triceratops* con una perforación de un centímetro de profundidad que había dejado un *rex*, y después plantearon una pregunta sencilla: ¿cuánta fuerza se necesitaría para producir una muesca tan profunda? No podían acceder a un *T. rex* real y hacer que mordiera a un *Triceratops* real, pero encontraron una manera de simularlo, preparando un molde de bronce y aluminio de un diente de *T. rex*, colocándolo en una máquina de carga hidráulica y haciéndolo golpear una pelvis de vaca, muy similar en forma y estructura al hueso de *Triceratops*. Empujaron una y otra vez el diente hasta que este hizo un agujero de un centímetro de profundidad, y después emplearon el instrumental para leer la fuerza requerida, que resultó en 13.400 néwtones, equivalentes a unos 1.300 kilogramos.

Se trata de una cifra asombrosa, aproximadamente el peso de un viejo autobús escolar. En comparación, los humanos ejercemos una fuerza máxima de unos 80 kilogramos con los molares, y los leones africanos muerden con la fuerza de unos 425 kilogramos. Los únicos animales modernos que se acercan a los valores de *T. rex* son los caimanes, que también muerden con una fuerza de unos 1.300 kilogramos. Sin embargo, hemos de recordar que la

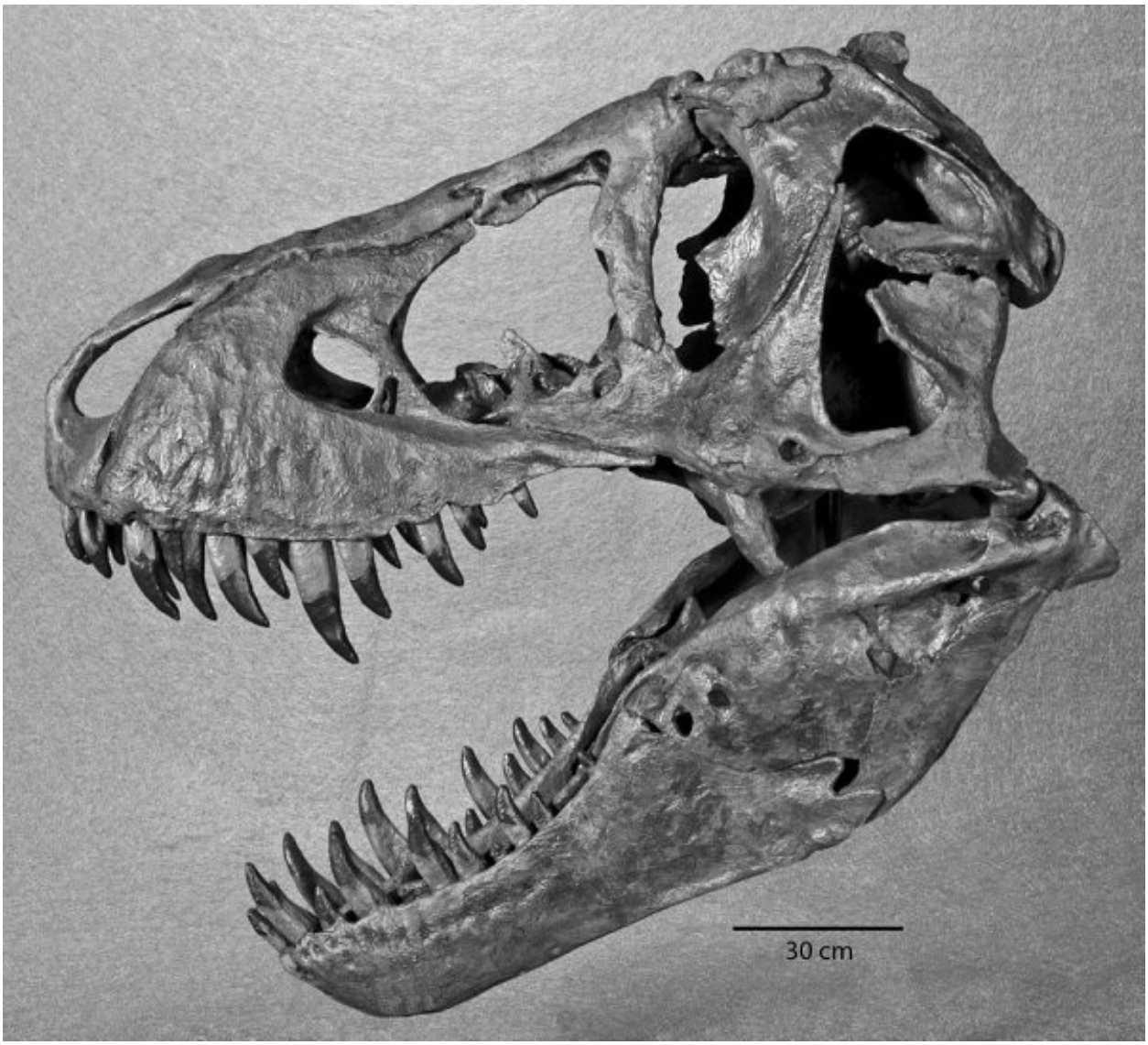
cifra para *T. rex* es para un solo diente… ¡imagínese cuánta potencia habría liberado una boca llena de estas escarpias de vía férrea! Y puesto que se trata de una medida de la fuerza necesaria para producir una marca de mordisco como la observada en un fósil, es probable que se trate de una estima a la baja de la potencia máxima. Probablemente, *rex* poseía la mordedura más fuerte de cualquier animal terrestre que jamás haya vivido. Podía triturar huesos con facilidad y habría sido lo bastante fuerte para atravesar un coche.

Toda esta potencia procedía de los músculos de las mandíbulas, el motor que proporcionaba a los dientes la energía para asestar esa mordedura capaz de reventar los huesos. Pero eso no es todo. Si los músculos liberaban la fuerza suficiente para romper los huesos de las presas, también hubieran podido romper los huesos craneales del propio *T. rex*. Física básica: a cada acción se le opone una reacción igual y opuesta. De modo que a *rex* no le bastaba con tener dientes muy grandes y unos músculos mandibulares enormes, también necesitaba un cráneo que pudiera soportar las tremendas tensiones que se producían cada vez que cerraba bruscamente las mandíbulas.

Para imaginar cómo lo hacía, hemos de recurrir a la ingeniería y a otra paleontóloga que ha transitado hasta el reino de la ciencia de los números básicos. El laboratorio de Emily Rayfield, en la Universidad de Bristol, en Inglaterra, es una gran sala brillante con una fila de ordenadores; por sus grandes ventanas y estructura diáfana y desenfadada, parece salido de Silicon Valley. Los estantes están llenos de manuales de programas informáticos, pero no hay ni un solo fósil a la vista. Emily no suele excavarlos; no es ese tipo de paleontóloga. En lugar de ello, elabora modelos informáticos (del cráneo de *T. rex*, pongamos por caso), y emplea una técnica denominada «análisis de elementos finitos» o AEF para estudiar cómo se habrían comportado desde el punto de vista mecánico.

El AEF lo desarrolló un equipo de ingenieros, y calcula las distribuciones

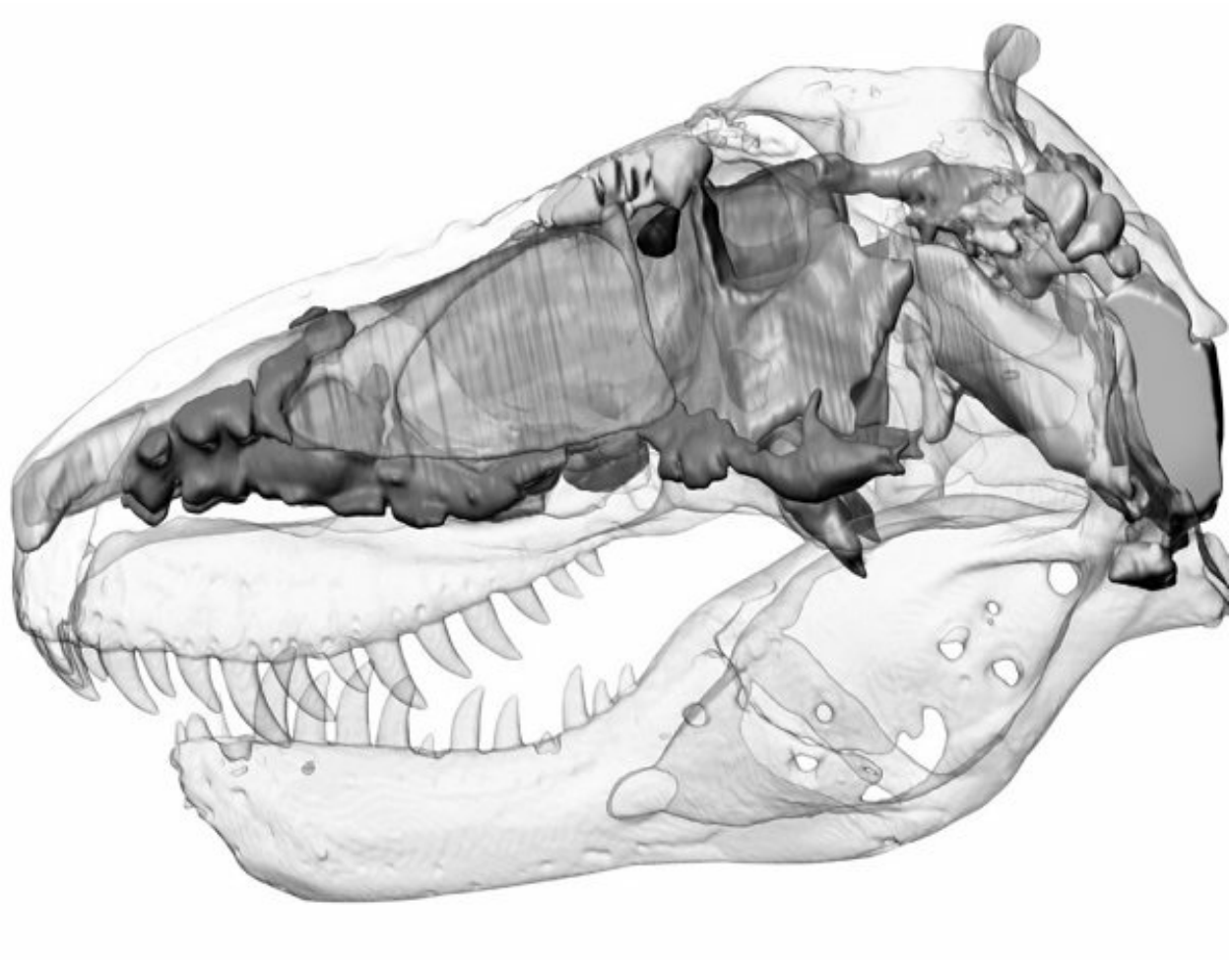
del estrés y de las tensiones en un modelo estructural digital, al someterlo a varias cargas simuladas. En lenguaje común, es una manera de predecir qué le ocurrirá a algo cuando se le aplica algún tipo de fuerza. Es muy útil en ingeniería. Antes de que un equipo de trabajo empiece a construir un puente, pongamos por caso, los ingenieros han de estar absolutamente seguros de que no va a derrumbarse cuando empiecen a pasarle vehículos pesados por encima. Para comprobarlo, pueden construir un modelo digital del puente y usar el ordenador para imitar las tensiones de vehículos reales, y así ver cómo reacciona el puente. ¿Tiene facilidad para absorber el peso y la fuerza de los coches, o bien empieza a agrietarse por la presión? Si lo hace, el ordenador es capaz de identificar los puntos débiles y los ingenieros pueden volver a los planos del puente real para efectuar los arreglos necesarios.



Cráneo de *Tyrannosaurus rex*. *Cortesía de Larry Witmer.*

Emily hace lo mismo con los dinosaurios, y *T. rex* ha sido una de sus musas favoritas. Emily construyó un modelo digital del cráneo basándose en escaneos de un fósil bien conservado, y después empleó el programa de AEF para simular las fuerzas de una mordedura que rompa los huesos y analizar la reacción del cráneo. El veredicto es que *T. rex* poseía un cráneo notablemente fuerte, optimizado para resistir las fuerzas extremas de opresión y desgarre de su mordisco de 1.300 kilogramos por diente. Estaba constituido como el

fuselaje de un avión, con los huesos individuales fuertemente fusionados, de modo que no se cayeran a pedazos al soportar el estrés. Los huesos nasales por encima del hocico conformaban un tubo largo y abovedado, que actuaba como un disipador de tensión. Las gruesas barras de hueso alrededor de los ojos proporcionaban solidez y rigidez, y la robusta mandíbula inferior era casi circular, en sección transversal, de modo que podía soportar fuertes presiones procedentes de todas las direcciones. Nada de esto se daba en otros terópodos, que poseían cráneos más delicados, con conexiones más laxas entre los distintos huesos.



Cavidad cerebral (extremo derecho superior) y senos dentro del cráneo de un *Tyrannosaurus rex*, revelados por TAC. *Cortesía de Larry Witmer*.

Se trata de la última pieza del rompecabezas, el último instrumento de la caja de herramientas que permitía a *T. rex* morder con tal fuerza que perforaba y, después, desgarraba los huesos de su pitanza. Gruesos dientes en forma de escarpia, enormes músculos mandibulares y un cráneo de factura rígida eran la combinación ganadora. Si hubiera faltado alguna de estas cosas, *T. rex* habría sido un terópodo normal, condenado a sajar y trocear a las presas con cuidado. Así es como lo hacían los otros tipos importantes (*Allosaurus*, *Torvosaurus* y los carcarodontosaurios), pues no poseían el arsenal necesario para cascar huesos. De nuevo, el Rey se yergue en solitario.

T. rex era capaz de crujir con los dientes casi cualquier cosa que quisiera comer, ya diese cuenta de un *Edmontosaurus* de doce metros de largo o picoteara en contemporáneos menores como *Thescelosaurus*, un ornitisquio del tamaño de un asno. Pero ¿cómo capturaba su comida?

Parece que no sería gracias a una velocidad excepcional. *T. rex* era un dinosaurio especial en muchos aspectos, pero no era capaz de desplazarse con celeridad. Hay una escena famosa en *Jurassic Park* en la que el despiadado *T. rex*, crispado por su insaciable apetito de carne humana, persigue a un jeep que corre a velocidades propias de una autopista. No hay que creer en la magia del filme, ya que es probable que el *T. rex* real hubiera quedado atrás una vez que el jeep acelerara en tercera marcha. No es que fuera un holgazán que caminase con desgana por el bosque. Todo lo contrario; era ágil y activo, se movía con denuedo, con la cabeza y la cola en equilibrio sostenido mientras caminaba de puntillas entre los árboles, acechando a su presa. Pero la máxima velocidad que era capaz de alcanzar se encontraba probablemente alrededor de entre quince a cuarenta kilómetros por hora. Es más de lo que

nosotros podemos correr, pero no es tan veloz como un caballo de carreras ni, desde luego, como un coche en carretera.

De nuevo, es el modelado informático de alta tecnología lo que ha permitido a los paleontólogos estudiar cómo se desplazaba *T. rex*. El pionero de estos trabajos fue, en la década del 2000, John Hutchinson, un estadounidense emigrado a Inglaterra que ahora es profesor en la Real Facultad de Veterinaria, cerca de Londres. Hutchinson pasa el día trabajando con animales; supervisa el ganado del campus de investigación de la universidad, hace que los elefantes corran en distintas condiciones para estudiar su postura y locomoción o diseca avestruces, jirafas y otros animales exóticos. John tiene un popular blog en el que cuenta sus aventuras, que lleva el nombre maravilloso pero de alguna manera perturbador de *What's in John's Freezer?*[5] También aparece con frecuencia como presentador de documentales televisivos, a menudo enfundado en su camisa favorita, de color púrpura, que, por suerte, no quiebra las lentes de las cámaras con su reflejo. Al igual que Greg Erickson, John es un científico al que hace tiempo que admiro debido a su manera única de estudiar los dinosaurios. Para John, el presente es claramente la clave del pasado: hay que descubrir todo lo que se pueda acerca de la anatomía y los comportamientos de los animales actuales, lo que nos ayudará a entender a los dinosaurios.

Quien vaya al laboratorio de John podrá ver que hay unos congeladores llenos de cadáveres de animales de todas las formas y tamaños, procedentes de todo el mundo. Lo más probable es que haya uno o dos descongelándose, candidatos a la mesa de disección. Pero el laboratorio de John tiene otro elemento más aséptico, el de los ordenadores, que emplea para preparar modelos digitales de los dinosaurios, como los que hemos visto en el capítulo 3 con los que calculamos el peso y la postura de los saurópodos cuellilargos. John empieza con un modelo tridimensional de un esqueleto, obtenido por

TAC, por escaneos superficiales de láser o por el método fotogramétrico del que ya hemos tenido conocimiento. Después, usa el conocimiento que posee de los animales modernos para dar cuerpo al conjunto, añadir músculos —cuyo tamaño y posición se basan en los lugares de fijación visibles en los huesos fósiles— y otros tejidos blandos, envolverlo en piel y colocar el modelo en posturas realistas. Luego el ordenador hace la magia, al poner al modelo a realizar todo tipo de rutinas gimnásticas y calcular la velocidad probable con la que se desplazaba el animal. Los modelos de John nos proporcionan la horquilla de quince a cuarenta kilómetros por hora antes citada para la velocidad de *T. rex*.

Los modelos informáticos también dejan claro que a *rex* le hubieran hecho falta unos músculos de una inmensidad absurda en las patas para correr tan deprisa como un caballo, hasta el punto de que más del 85 por ciento de su masa corporal total estaría solo en los muslos, lo que resulta obvio que es imposible. *T. rex* era demasiado grande para correr de manera excepcionalmente rápida. El enorme tamaño implicaría asimismo otro lastre, y es que el Rey Tirano no podía girar muy deprisa, pues de otro modo se habría caído como un camión que toma una curva a demasiada velocidad. Así pues, lo cierto es que Spielberg se equivocó, *T. rex* no era un velocista, y habría tendido emboscadas a sus presas para realizar ataques fulminantes en lugar de perseguirlas como un guepardo.

Tender emboscadas a las presas puede requerir una gran cantidad de energía, en arrebatos. Por suerte, *T. rex* tenía otro as en la manga o, para ser más exactos, dentro del pecho. ¿Recuerda el lector aquellos pulmones hipereficientes de los saurópodos, que les permitían alcanzar un tamaño tan enorme? Resulta que *T. rex* tenía unos pulmones iguales, que además son como los de las aves actuales, como fuelles rígidos anclados a la columna vertebral, capaces de extraer oxígeno tanto cuando el animal inspira como

cuando espira. Los nuestros solo pueden tomar oxígeno durante la inhalación, para luego expulsar dióxido de carbono durante la exhalación. Se trata de un logro impresionante de ingeniería biológica. Cuando las aves actuales —y asimismo *T. rex*— inspiran, el aire rico en oxígeno les recorre los pulmones, como de hecho cabe esperar. Pero también es cierto que parte del aire inhalado no pasa directamente por los pulmones, sino que se desvía hacia un sistema de sacos conectado a estos. Allí se mantiene, hasta que el animal espira, entonces se libera y pasa a través de los pulmones, para proporcionar un nuevo disparo rico en oxígeno a la vez que se expulsa el desecho de dióxido de carbono. Las aves obtienen el doble por el mismo precio, un suministro continuo de energético oxígeno. Si el lector se ha preguntado alguna vez cómo es que algunas aves pueden volar a miles de metros de altura, en un aire enrarecido en el que nosotros respiraríamos con dificultad —alguien que haya visto caer las máscaras de oxígeno en mitad de un vuelo, por ejemplo—, ha de saber que el arma secreta está en los pulmones.

Los paleontólogos no han encontrado todavía un pulmón fosilizado de *T. rex*, y probablemente nunca tengan esa suerte. Resulta un tejido demasiado fino y delicado como para fosilizarse. Pero sabemos que *rex* tenía unos pulmones muy eficientes, como los de las aves, porque este tipo de sistema respiratorio deja impresiones en los huesos que sí se pueden observar en los fósiles. Todo tiene que ver con los sacos aéreos, los compartimentos de almacenamiento de aire esenciales de los pulmones del tipo que tienen las aves. Estos sacos son como globos, blandos, de paredes delgadas, flexibles, y se inflan y se desinflan durante el ciclo de ventilación. Hay varios conectados al pulmón, enclavados entre los otros muchos órganos del tórax, que incluyen la tráquea y el esófago, el corazón, el estómago y los intestinos. A veces no queda espacio para ellos, así que serpentean hasta llegar al único disponible, pegados a los mismos huesos. Al hacerlo, los invaden a través de agujeros

grandes y de paredes lisas y, una vez dentro de la cámara, se expanden. El proceso se puede identificar con facilidad en los fósiles. Lo vemos en la columna vertebral de *T. rex*, así como en otros muchos dinosaurios, entre los cuales, como descubrimos anteriormente, están los enormes saurópodos. Es algo que no se encuentra en mamíferos o en lagartos, ni en ranas ni peces, ni en ningún otro tipo de animal que no sean las aves modernas o los dinosaurios extintos y unos pocos parientes muy próximos, como huella delatora de unos pulmones únicos.

Es bastante evidente el drama que supondría un ataque de *T. rex*. Los pulmones suministraban la energía, que se transfería a los músculos de las piernas para impulsar a *rex* hacia delante con un arrebato de velocidad con la que se abalanzaba sobre la sorprendida víctima. Y entonces ¿qué ocurría? Imagine el lector a *T. rex* como un gigantesco tiburón terrestre. Al igual que un Gran Blanco, el resto de la acción se ejecutaba con la cabeza, con la que consumaba el ataque para luego recurrir a sus fuertes mandíbulas a modo de cepo, para agarrar a la presa, someterla, matarla y triturar la carne, las entrañas y los huesos antes de tragársela. *T. rex* no tenía otra opción que cazar con la cabeza por delante, porque tenía unos brazos lastimosamente diminutos. El Rey había evolucionado a partir de ancestros más pequeños, como *Guanlong* y *Dilong*, que contaban con unos brazos mucho más largos para sujetar a las presas. Pero en el curso de la evolución de los tiranosaurios, la cabeza creció, los brazos se hicieron más pequeños y el cráneo adoptó gradualmente todas las funciones venatorias que solían realizar aquellos.

Y entonces ¿por qué *T. rex* seguía teniendo brazos? ¿Por qué no los perdió por completo, de la misma manera que las extremidades posteriores, que ya no eran necesarias, desaparecieron en las ballenas cuando evolucionaron a partir de los mamíferos terrestres que colonizaron las aguas? Este misterio ha cautivado desde hace mucho tiempo a los científicos y ha suministrado una

cantidad infinita de material para que dibujantes y cómicos hicieran chistes malos. Resulta que estos brazos pequeños, por absurdos que parezcan, no eran inútiles. Aunque cortos, eran corpulentos y musculosos, y tenían un propósito.

Fue Sara Burch quien lo descifró. Sara también se formó en el laboratorio de Paul Sereno en la Universidad de Chicago, donde entablamos amistad, pero después nuestros caminos divergieron; yo me entregué a estudiar genealogía y evolución, mientras que Sara quedó cautivada por los huesos y los músculos. Hizo la tesis doctoral en un departamento de anatomía, donde disecó todo un zoo de animales, y desde entonces ha seguido un recorrido profesional habitual para los paleontólogos como profesora de anatomía humana para estudiantes de Medicina. Sabe más acerca de la estructura anatómica de los dinosaurios que casi cualquier persona viva, como el mecanismo de unión de los huesos o el tipo de músculos que tenían. Sara reconstruyó el antebrazo de *T. rex* y de otros muchos terópodos, determinó qué músculos había presentes y lo grandes que eran a partir de las marcas de fijación que había en los huesos conservados, valiéndose de los análisis comparativos con reptiles y aves modernas como guía. Resultó que los brazos aparentemente ridículos de *rex* tenían unos potentes extensores en los hombros y flexores en los codos, justo los músculos necesarios sujetar algo sin que se escabulla, para mantenerlo cerca del pecho. Parece que *T. rex* usaba estos brazos cortos pero fuertes para sujetar a las presas que se debatían mientras las mandíbulas les cascaban los huesos. Eran cómplices del crimen.

Ahora bien, hay una última vuelta de tuerca en el relato de cómo cazaba *T. rex*. Cada vez estamos más seguros de que no iba de caza en solitario, sino que se desplazaba en manada. La evidencia procede de una localidad fósil canadiense ubicada entre Edmonton y Calgary, en lo que ahora es el Parque Provincial del Salto de Búfalos de Dry Island. Lo descubrió en 1910 nada

menos que Barnum Brown, que solo unos años antes había encontrado el primer esqueleto de *T. rex* en Montana. Brown viajaba por el corazón de las praderas canadienses, yendo en barca aguas abajo a lo largo del río Red Deer, para soltar el ancla cada vez que veía huesos de dinosaurio sobresalir en la ribera. Cuando llegó a Dry Island, advirtió varios huesos de un primo de *T. rex* algo más antiguo, llamado *Albertosaurus*, uno de los depredadores culminales norteamericanos inmediatamente anteriores a la migración desde Asia de aquel. Solo tuvo tiempo de recoger una pequeña muestra antes de dirigirse de vuelta a Nueva York.

Estos huesos languidecieron durante décadas en lo más profundo de las criptas del Museo Americano, hasta que Phil Currie, el principal buscador de dinosaurios de Canadá —y uno de los tipos más agradables con que uno se pueda topar— tuvo noticia de ellos en la década de los noventa. Siguió los pasos de Brown, localizó el sitio y empezó a excavar. A lo largo de la década siguiente, su equipo recolectó más de un millar de huesos que pertenecen al menos a una docena de individuos, que van de adolescentes a adultos, todos ellos *Albertosaurus*. Lo cierto es que solo hay una manera en que numerosos individuos de la misma especie puedan conservarse juntos; tuvieron que haber vivido y muerto del mismo modo. Algunos años después, el equipo de Phil encontró una fosa común similar en Mongolia, repleta de varios *Tarbosaurus*, el primo asiático más próximo a *T. rex*. Era evidente que *Albertosaurus* y *Tarbosaurus* iban en manada, y conjeturamos que también lo hacía el propio *rex*. Si la emboscada de un depredador y triturador de huesos de siete toneladas no resulta ya lo bastante terrorífica por sí sola, imagine el lector una jauría de ellos operando juntos. ¡Dulces sueños!

Entremos en la cabeza del Rey. ¿Qué pensaba? ¿Cómo percibía el mundo?

¿Cómo localizaba a sus presas? No cabe duda de que son preguntas de muy difícil respuesta. Ya nos es casi imposible ponernos en el lugar de otros animales vivos modernos, o en sus garras, o en sus aletas, y captar el aspecto que tiene su mundo. Pero podemos estudiar el cerebro y los órganos de los sentidos y empezar a configurar una imagen. Con todo, con los dinosaurios no tenemos suerte, ya que el cerebro, los ojos, los nervios y los tejidos asociados con oídos y nariz son blandos y de fácil descomposición, lo que significa que rara vez superaron los rigores de la fosilización. Así que, ¿qué podemos hacer?

La tecnología, una vez más, hace que lo imposible sea posible. El cerebro, los oídos, la nariz y los ojos de los dinosaurios desaparecieron hace mucho tiempo, pero estos órganos ocupaban un espacio en los huesos: la cavidad cerebral, las cuencas oculares, etcétera. Podemos estudiar estas cavidades para hacernos una idea de cómo eran los órganos de los sentidos que los ocupaban originalmente; pero hay otro problema, ya que muchos de tales espacios se hallan dentro de los huesos, y no son observables desde el exterior. Aquí es donde interviene la tecnología, puesto que podemos recurrir a un TAC para visualizar el interior de los huesos de los dinosaurios. Estos escaneos no son más que unos rayos X muy potentes. Por eso se recurre tanto a ellos en medicina; si nos duele la tripa o notamos un crujido en los huesos, es probable que el médico nos haga un TAC para ver qué nos ocurre dentro del cuerpo sin tener que abrirlo. Lo mismo ocurre con los dinosaurios. Podemos usar los rayos X para tomar una serie de imágenes internas, que después podemos montar juntas en modelos tridimensionales mediante distintos programas informáticos. Este procedimiento se ha convertido prácticamente en una rutina en la paleontología, de modo que muchos laboratorios —incluido el mío en Edimburgo— tienen un escáner en el local. El nuestro lo fabricó con sus propias manos uno de mis colegas, Ian Butler,

geoquímico de formación que ahora escanea un fósil tras otro, cada uno de los cuales lo lleva a meterse más profundamente en la adicción de la paleontología.

Ian Butler escaneando mediante TAC el cráneo del tiranosaurio primitivo *Timurlengia* en la Universidad de Edimburgo.

Una reconstrucción mediante un escaneo TAC del cerebro, oído interno y nervios y vasos sanguíneos asociados de *Tyrannosaurus rex*. *Cortesía de Larry Witmer*.

Ian y yo somos novatos en el juego del escaneo de fósiles. Seguimos los pasos de algunos gigantes en esta área, como Larry Witmer, de la Universidad de Ohio; Chris Brochu, de la Universidad de Iowa; y el equipo del matrimonio conformado por Amy Balanoff y Gabe Bever, quienes empezaron en la Universidad de Texas, se desplazaron al Museo Americano de Nueva York —donde los conocí cuando hacía el doctorado— y ahora están instalados en la Universidad Johns Hopkins, en Baltimore. Balanoff y Bever son unos virtuosos capaces de leer un TAC igual que un lingüista descifra un manuscrito antiguo. En las manchas en escala de grises de los rayos X, ellos pueden discernir las estructuras internas que alimentaron la inteligencia y las proezas sensoriales de unos dinosaurios que murieron hace tantísimo tiempo. Los tiranosaurios como *T. rex* se han contado entre sus sujetos favoritos —o sus pacientes favoritos, si se quiere—, cuyos comportamientos y capacidades cognitivas son misterios que hay que

diagnosticar.

Los escaneos nos cuentan no pocas cosas acerca de nuestro paciente. Para empezar, *rex* tenía un cerebro distintivo. No se parecía en absoluto al nuestro, sino que era más bien un largo tubo levemente combado en la parte posterior, rodeado por una extensa red de senos. También era un cerebro relativamente grande, al menos para un dinosaurio, lo que sugiere que *T. rex* era bastante inteligente. Ahora bien, existen muchas incertidumbres a la hora de medir algo como la inteligencia, incluso en los humanos; no hay más que pensar en todas las pruebas de CI, exámenes, exámenes de selectividad y otros métodos que empleamos para evaluar la inteligencia de las personas. Sin embargo, existe una medida directa a la que los científicos recurren para hacer una comparación aproximativa de la inteligencia de diferentes animales. Se denomina «cociente de encefalización» o CE. Es básicamente una medida del tamaño relativo del cerebro a partir del tamaño del cuerpo, ya que, después de todo, los animales más grandes tienen asimismo un cerebro mayor, como los elefantes, que tienen un cerebro mayor que el nuestro, pero no son más inteligentes. El CE de los tiranosaurios mayores, como *T. rex*, estaba en un rango de 2,0 a 2,4. En comparación, el nuestro es de alrededor de 7,5, el de los delfines oscila entre 4,0 y 4,5, el de los chimpancés entre 2,2 y 2,5, el de perros y gatos se halla en la gama de 1,0 a 1,2 y el de ratones y ratas languidece alrededor de 0,5. Sobre la base de estos números, podemos decir que *rex* era más o menos tan inteligente como un chimpancé y más inteligente que un perro o un gato, lo que significa que era mucho más inteligente de lo que marca el estereotipo de los dinosaurios.

Una parte del cerebro de los tiranosaurios particularmente grande eran los bulbos olfativos. Se trata de unos lóbulos que hay en la parte delantera del cerebro y que controlan el sentido del olfato. Cada uno de los dos bulbos era algo mayor que una pelota de golf, y mucho mayor en tamaño absoluto que el

de cualesquiera otros terópodos. Desde luego, *T. rex* era uno de los más grandes entre estos, de modo que quizá poseía unos bulbos olfativos enormes nada más que en virtud de su tamaño extremo. Entonces, lo que se necesita es una medida relativa del tamaño de los bulbos olfativos. Eso es lo que consiguió precisamente mi amiga Darla Zelenitsky, de la Universidad de Calgary. Compiló escaneos de numerosos terópodos, calculó el tamaño de los bulbos olfativos y los normalizó dividiéndolos por el tamaño del cuerpo. Incluso después del proceso, seguía encontrando que los grandes tiranosaurios eran casos absolutamente aparte junto con los dinosaurios raptores, que tenían unos bulbos olfativos enormes en proporción y, por lo tanto, un agudo sentido del olfato en comparación con otros dinosaurios carnívoros.

Pero no solo el olfato, sino otros sentidos estaban asimismo aumentados. Los escaneos nos permiten ver dentro del oído interno de *rex* una red en forma de lazo de tubos que controlarían a la vez el oído y el equilibrio. Los canales semicirculares en la parte superior —que son lo que conferiría la forma de lazo— eran largos y retorcidos. Tal como sabemos a partir de las comparaciones con animales modernos, esto significa que *T. rex* era ágil y capaz de movimientos muy coordinados de cabeza y ojos. De debajo del lazo surge la cóclea, la parte del oído interno que regula la audición. En *T. rex* la cóclea era más alargada que en la mayoría de los demás dinosaurios. En los animales actuales existe una fuerte correlación: cuánto más larga es la cóclea, mayor es la sensibilidad a los sonidos de baja frecuencia. En otras palabras, *rex* también tenía un agudo sentido del oído. Como de la vista; los enormes globos oculares de *T. rex* se dirigían parcialmente hacia los lados y parcialmente hacia delante, lo que significa que poseían una visión binocular. El Rey podía ver en tres dimensiones y percibir la profundidad, al igual que nosotros. Hay otra escena en *Jurassic Park* en la que se les dice a los

asustados humanos que se estén quietos, porque si no se mueven *T. rex* no podrá verlos. Tonterías; puesto que podía percibir la profundidad, un *rex* real se habría zampado sin problema a estas personas acongojadas y desinformadas.

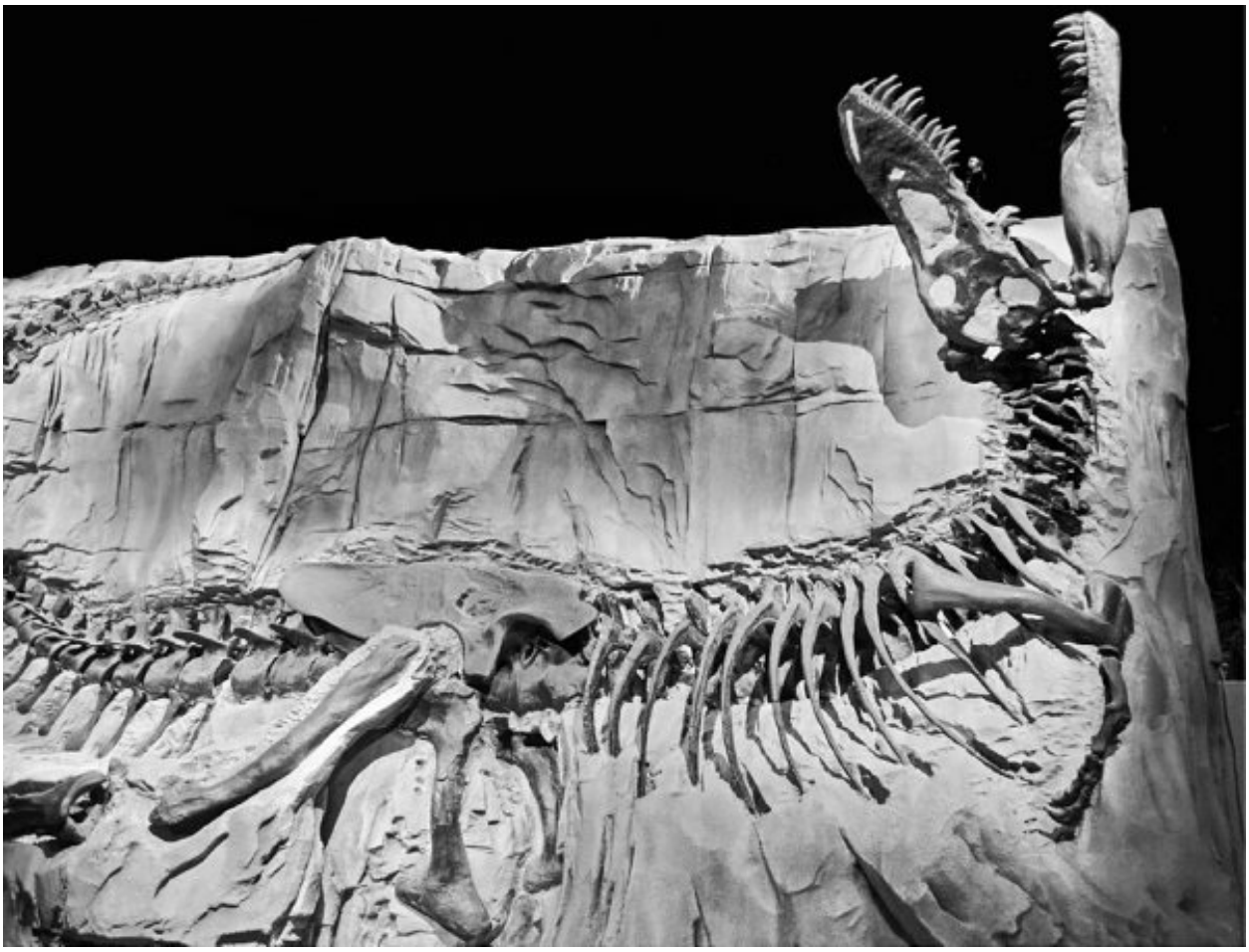
Así pues, no todo era fuerza bruta. *T. rex* tenía potencia, desde luego, pero también cerebro. Una gran inteligencia, un sentido del olfato de primer orden, y el oído y la vista agudizados. Añádanse estas capacidades al arsenal de *rex* para elegir a sus víctimas, para escoger qué pobres dinosaurios eran los que iban a morir.

Lo que más pasmado me deja al imaginar a *T. rex* como un animal real es el principio de su vida como una cría diminuta. Todos los dinosaurios, hasta donde sabemos, hacían eclosión de huevos. Todavía no hemos encontrado ningún huevo de *T. rex*, pero sí que tenemos huevos y nidos de muchos terópodos estrechamente emparentados. Parece que la mayoría de estos dinosaurios vigilaban los nidos y proporcionaban al menos un mínimo de cuidados a sus crías. Sin algo de amor paterno, las crías de dinosaurios habrían sido un caso perdido, porque eran minúsculas. No hay ningún huevo de dinosaurio del que tengamos noticia que fuera mayor que un balón de baloncesto, de modo que incluso las especies más grandes, como *T. rex*, habrían tenido, todo lo más, el tamaño de una paloma al entrar en el mundo.

Cuando mis padres estudiaban a los dinosaurios en el colegio, la conjetura era que *T. rex* y sus parientes crecían como las iguanas, a lo largo de toda la vida, haciéndose cada vez más grandes de forma gradual. Podían llegar a ser tan grandes porque vivían mucho tiempo, y pasado alrededor de un siglo, alcanzaban el tamaño definitivo de algo más de doce metros y el peso de siete toneladas, para después, finalmente, dar algunos pasos y morir. Esta idea

llegó incluso a los libros sobre dinosaurios que yo leía de niño, pero, al igual que otras muchas figuraciones arraigadas sobre los dinosaurios, resulta que es falsa. Los dinosaurios como *T. rex* crecían muy rápido, de un modo más parecido a las aves que a los lagartos.

La evidencia se halla velada en el interior de los huesos de los dinosaurios, y paleontólogos como Greg Erickson encontraron una manera de sacarla a la luz. Los huesos no son bastones y amasijos estáticos fijados en el cuerpo, sino tejidos vivos, dinámicos, que crecen, que se reparan y se remodelan constantemente. Esta es la razón por la que se curan si se rompen. A medida que la mayoría de los huesos crecen, se hacen más anchos en todas direcciones, expandiéndose desde el centro hacia afuera, pero, por lo general, este crecimiento rápido solo tiene lugar durante determinadas partes del año, en particular el verano o la estación húmeda, cuando abunda el alimento, mientras que se hace más lento durante el invierno o la estación seca. Si se corta un hueso, se puede ver un registro de cada transición temporal del crecimiento, con las fases rápidas y las lentas, en forma de anillos. Así es, al igual que ocurre con los árboles, los huesos tienen anillos en su interior, y debido a que el paso del verano al invierno tiene lugar una vez al año, cada año se forma uno. Al contarlos, se puede saber lo viejo que era un dinosaurio en el momento de su muerte.



Esqueleto de *Tyrannosaurus rex* expuesto en el Museo Real Tyrrell en Alberta, Canadá.

Greg obtuvo permiso para cortar los huesos de varios esqueletos diferentes de *T. rex*, junto con otros muchos tiranosaurios que son sus parientes cercanos, como *Albertosaurus* y *Gorgosaurus*. De forma sorprendente, ningún hueso tenía más de treinta anillos de crecimiento. Esto significa que los tiranosaurios maduraban, alcanzaban la edad adulta y morían al cabo de tres décadas. Los dinosaurios grandes como *T. rex* no crecían de forma lenta durante varias décadas o incluso siglos, sino que debían de alcanzar un tamaño enorme en un crecimiento rápido durante un periodo de tiempo mucho más corto. Pero ¿con cuánta rapidez? Para descubrirlo, Greg elaboró unas curvas de crecimiento; dispuso en un gráfico la edad de cada esqueleto,

determinada a partir del número de anillos óseos, en relación con el tamaño del cuerpo, calculado a partir de aquellas ecuaciones para estimar el peso a partir de las dimensiones de las extremidades que vimos anteriormente. Esto permitió a Greg computar el ritmo al que *T. rex* crecía cada año. Se trata de una cifra casi demasiado elevada como para asumirla, ya que resulta que durante sus años de adolescencia, aproximadamente desde los diez a los veinte, iba ganando unos setecientos sesenta kilogramos al año. ¡Esto supone del orden de dos kilos diarios! No es extraño que *T. rex* tuviera que comer tanto; toda aquella carne de *Edmontosaurus* y *Triceratops* impulsaba un demencial acelerón de crecimiento adolescente que transformaba a un polluelo del tamaño de un gatito en el rey de los dinosaurios.

Podríamos llamar a *T. rex* el James Dean de los dinosaurios, puesto que vivía rápido y moría joven. Una vida dura que suponía una tremenda tensión para su cuerpo. El esqueleto tenía que soportar la adición diaria de dos kilos durante los años del estirón. De alguna manera, el cuerpo tenía que metamorfosearse de una cría diminuta a un monstruo, de modo que no resulta ninguna sorpresa que el esqueleto de *T. rex* cambiara de forma espectacular a medida que maduraba. De chavales, eran como unos elegantes guepardos; en la adolescencia, unos corredores de aspecto larguirucho, y como adultos, unos purasangres terroríficos, más largos y pesados que un autobús. Los jóvenes corrían probablemente mucho más deprisa que los adultos, y quizá perseguían a sus presas, mientras que los «espalda plateada» eran tan enormes que solo podían cazar con emboscadas, con un apoyo mucho mayor en la fuerza que en la velocidad. Lo que es particularmente aterrador es que, al parecer, jóvenes y adultos convivían en manadas, lo que significa que quizá cazaban en equipo, complementando las habilidades mutuas para hacer de la vida de sus presas un infierno.

Uno de mis amigos paleontólogos más queridos ha hecho carrera

estudiando de qué manera cambiaba *T. rex* a medida que crecía. Es un canadiense, de nombre Thomas Carr, ahora profesor en la facultad Carthage, en Wisconsin. Se puede avistar a Thomas desde un kilómetro de distancia. Tiene el sentido de la moda de un predicador de la década de los setenta y algunos de los dejes amanerados de Sheldon Cooper, de *The Big Bang Theory*. Siempre lleva trajes de terciopelo negro, por lo general con una camisa del mismo color u otro que sea oscuro. Luce unas patillas largas y pobladas, y una pelambrera clara. Un anillo con una calavera de plata le adorna la mano. Se obsesiona por las cosas con facilidad, por ejemplo y desde hace tiempo, la absenta y los Doors. Y los tiranosaurios, claro; habla mucho de *T. rex* porque es su tema favorito. Ya cuando era joven quería estudiar al Rey Tirano, y acabó por realizar una tesis doctoral sobre la manera en que el cráneo de este cambiaba a medida que se acercaba a la edad adulta. Tenía más de mil doscientas setenta páginas y, debido a lo meticuloso que siempre es Thomas, se trata de uno de sus trabajos académicos más breves.

Hueso a hueso, Thomas ha registrado la metamorfosis de *Tyrannosaurus rex*. Casi toda la cabeza se remodelaba cuando pasaba de muchacho a hombre, de chica a mujer. El cráneo era al principio largo y bajo, con un hocico alargado, dientes finos y depresiones someras para los músculos de las mandíbulas. A lo largo de los años de adolescencia, crecía, se hacía más alto y más fuerte. Las suturas entre los huesos se trababan con más firmeza entre sí, las depresiones de los músculos de las mandíbulas se hacían mucho más profundas y los dientes se transformaban en escarpias trituradoras de huesos. Los jóvenes no podían efectuar la alimentación de perforación y tirón, algo que solo era posible en la edad adulta, hacia la misma edad en que pasaban de ser velocistas a lentos emboscadores. Asimismo, tenían lugar otros cambios: los senos del interior del cráneo se expandían, probablemente para ayudar a aligerar la cabeza cada vez más pesada, y los pequeños cuernos sobre ojos y

mejillas se hacían mayores y más prominentes, así como las diminutas protuberancias se convertían en llamativos ornamentos de exhibición para atraer a otros individuos cuando las hormonas adolescentes empezaban a manifestarse.

Era una gran transformación. Después de aquellas comilonas de la década de crecimiento exponencial, de una remodelación completa del cráneo, de la pérdida de la capacidad de correr deprisa y la adquisición de la mordida de perforación y tirón, *rex* estaba hecho todo un hombre, toda una mujer, con todas las aptitudes para reclamar su trono.

Y aquí está, un vislumbre de la vida y la época del dinosaurio más famoso de la historia. *T. rex* mordía con tanta fuerza que podía triturar los huesos de las presas, era tan corpulento que las carreras veloces le estaban vetadas en la edad adulta, crecía tan rápido en la adolescencia que aumentaba de peso dos kilogramos al día durante una década, tenía un cerebro grande y unos sentidos agudos, cazaba en manada y hasta estaba cubierto de plumas. Quizá no sea esta la biografía que el lector esperaba. Y ahí está la cuestión. Todo lo que hemos descubierto acerca de *T. rex* nos dice que esta especie, así como los dinosaurios en general, eran unos éxitos increíbles de la evolución, bien adaptados a sus ambientes, los amos de su época. Lejos de ser fracasos, eran éxitos evolutivos. También eran notablemente similares a los animales actuales, en particular a las aves, puesto que tenían plumas, crecían a un ritmo similar e incluso respiraban como las aves. Los dinosaurios no eran extraterrestres, sino animales reales que tenían que hacer lo que todos hacemos, a saber, crecer, comer, desplazarse y reproducirse. Y ninguno lo hizo mejor que *T. rex*, el único y verdadero rey.

7

Los DINOSAURIOS *en la* CUMBRE *del* ÉXITO

Triceratops

Por terrorífico que fuera, *T. rex* no era un supervillano de escala mundial. Su señorío era Norteamérica, su zona occidental para ser más precisos. Ningún dinosaurio asiático, europeo o sudamericano vivía atemorizado por *T. rex*. De hecho, nunca se cruzaron con uno.

Durante el Cretácico tardío —en los últimos ramalazos de la evolución de los dinosaurios, hace entre 84 y 66 millones de años, cuando *T. rex* y sus primos tiranosaurios de tamaño gigantesco ocupaban la cima de la cadena trófica—, la armonía geográfica de Pangea se había convertido en un recuerdo distante. Para entonces, ya hacía mucho tiempo que el supercontinente se había fracturado en varios fragmentos, cada uno de ellos se había alejado lentamente de los demás a lo largo del Jurásico y del Cretácico temprano y medio, y los espacios entre unos y otros los habían ocupado los océanos. Cuando *T. rex* se coronó, solo un par de millones de años antes de que la Era de los Dinosaurios terminara con una explosión, el mapa era más o menos como el actual.

Al norte del ecuador había dos grandes masas continentales, a saber, Norteamérica y Asia, esencialmente con su forma moderna. Se tocaban entre sí, aunque muy levemente, cerca del Polo Norte, pero por lo demás estaban separadas por un amplio océano Pacífico. También había un océano Atlántico, al otro lado de Norteamérica, que rodeaba una serie de islas que correspondían a lo que en la actualidad es Europa. El nivel del mar era tan elevado durante el Cretácico tardío —resultado de un mundo invernadero en el que había muy poca agua, o ninguna, en la forma de casquetes de hielo polares— que la mayor parte de las tierras bajas de Europa estaba inundada.

Solo una constelación de áreas aquí y allá —las partes más elevadas de Europa— sobresalían de las olas. El nivel elevado del mar también hacía que el agua penetrara muy hacia el interior de los continentes, de modo que unos mares subtropicales cálidos lamían regiones muy al norte de Norteamérica y Asia. El brazo de mar norteamericano se extendía directamente desde el golfo de México hasta el Ártico. Así es, el continente estaba cortado en una rebanada oriental, denominada Apalachia, y en un microcontinente occidental denominado Laramidia, el coto de caza de *T. rex*.

En el sur se daba una situación similar. Las piezas del rompecabezas en la forma del yin y el yang de Sudamérica y África acababan de separarse, con el estrecho corredor del Atlántico Sur encajado entre ellas. La Antártida se situaba en la base del mundo, equilibrada sobre el Polo Sur. Hacia el norte de la Antártida se encontraba Australia, con una forma un poco más de medialuna que en la actualidad. Unos dedos de corteza mantenían a la Antártida en contacto tanto con Australia como con Sudamérica, pero eran tenues, propensos a ser cubiertos por las aguas cada vez que el nivel del mar subía un poco. Durante estos periodos de aguas altas, como en el norte, los mares se extendían hacia el interior de los continentes australes, anegando gran parte de África septentrional y del sur de Sudamérica. Lo que en la actualidad es el Sáhara habría quedado anegado. Sin embargo, durante aquellas épocas en las que los mares se retiraban en alguna medida, un archipiélago proporcionaba una ruta entre África y Europa, una carretera, aunque efímera y traicionera, entre el norte y el sur.

A unos cuantos cientos de kilómetros de la costa oriental de África, había una cuña triangular, un continente insular. Era India, el único gran fragmento de tierra en el Cretácico tardío que hoy en día nos parecería fuera de lugar. Empezó su vida como una tajada de la antigua Gondwana —la gran masa de tierras australes que se separó de las tierras septentrionales cuando Pangea

empezó a dividirse—, encajada entre lo que se convertiría en África y lo que sería la Antártida. Perdió toda conexión con sus vecinos en algún momento de la parte inicial del Cretácico y empezó a desplazarse hacia el norte, a una velocidad de más de quince centímetros al año. La mayoría de los continentes, en cambio, derivan a un ritmo mucho más lento, aproximadamente a la velocidad a la que crecen nuestras uñas. Esto condujo a India a la parte media del océano Protoíndico, un poco al sur del Cuerno de África, en el Cretácico tardío. Al cabo de otros diez millones de años, aproximadamente, el continente completaría su viaje, colisionando con Asia para formar el Himalaya; pero para entonces los dinosaurios hacía ya mucho tiempo que se habían ido.

Entre estos fragmentos de tierra estaban los océanos, un ámbito que los dinosaurios nunca pudieron conquistar. Las cálidas aguas del Cretácico, al igual que había pasado antes durante el Jurásico y el Triásico, eran el territorio de caza de varios tipos de reptiles gigantes, como plesiosauros, con un gran cuello de forma de fideo; pliosauros, con cabeza enorme y aletas en forma de remo; unos animales hidrodinámicos y provistos de aletas llamados «ictiosauros», que parecían versiones reptilianas de delfines, y otros muchos. Se comían los unos a los otros y también comían peces y tiburones —muchos de los cuales eran mucho más pequeños que las especies actuales—, que a su vez se alimentaban de minúsculos organismos con caparazón del plancton, que eran abundantísimos en las corrientes oceánicas. Ninguno de estos reptiles eran dinosaurios, aunque eran primos lejanos reptilianos. Por alguna razón, aún no sabemos por qué, ningún dinosaurio fue capaz de seguir la senda de los cetáceos, es decir, empezar en tierra, convertir su cuerpo en máquinas nadadoras y hacerse una vida en el agua.

Estaban acantonados en tierra, una de las pocas barreras que nunca pudieron superar. En el Cretácico tardío, esto significaba que tuvieron que

habérselas con un mundo deshilvanado. La tierra estaba dividida en diferentes reinos, fragmentos emergidos, separados por unos mares infestados de reptiles, con grupos de dinosaurios aislados unos de otros. Y esto incluye a *T. rex*. Quizá el Rey hubiera sido capaz de subyugar fácilmente a los dinosaurios de Europa, o India, o Sudamérica, pero nunca tuvo ocasión. Estaba restringido a Norteamérica occidental.

A otros dinosaurios les vino bien, en especial a los herbívoros, pero también les dio a otros tipos de carnívoros la oportunidad de erigir sus propios reinos, y varios de estos grupos hicieron precisamente eso, y su historia es algo diferente en cada uno de los continentes del Cretácico. Cada masa continental tuvo un conjunto único de dinosaurios, con sus propios megadepredadores, los cazadores de segundo nivel, los carroñeros, los herbívoros grandes y pequeños, y los omnívoros. Este provincianismo se extendía asimismo a otras especies; había distintos tipos de cocodrilos, tortugas, lagartos, ranas y peces en las diversas parcelas de territorio y, desde luego, también diferentes tipos de plantas. De esta manera, el aislamiento generó diversificación.

Fue así que el Cretácico tardío, este mundo de gran complejidad geográfica y ecológica, con diferentes ecosistemas varados en diferentes continentes, supuso la época dorada de los dinosaurios. Fue su época de mayor diversidad, el apogeo de su éxito. Había más especies que nunca antes, desde animales diminutos a otros gigantes, que comían todo tipo de alimento, dotados con una espectacular variedad de crestas, cuernos, púas, plumas, garras y dientes. Los dinosaurios estaban en plena forma, desenvolviéndose tan bien como siempre, o aún mejor, todavía al control más de 150 millones de años después de que sus primeros antepasados nacieran en Pangea.

Para encontrar los mejores fósiles de dinosaurios del Cretácico tardío —huesos del propio *T. rex* inclusive— hay que ir al infierno… o, más bien, a las tierras yermas que rodean Hell Creek,[6] que antaño fue un pequeño afluente del río Missouri y que ahora es un brazo inundado de un embalse en el nordeste de Montana. Es un lugar con una humedad agobiante y lleno de enjambres de mosquitos, con apenas brisa y poca sombra, solo peñascos rocosos que se extienden hacia el horizonte en todas direcciones y que irradian tanto calor como una sauna.

Barnum Brown fue uno de los primeros exploradores en visitar Hell Creek en busca de dinosaurios, y fue en las costrosas colinas, a unos ciento cincuenta kilómetros al sudeste del arroyo, donde encontró el primer esqueleto de *T. rex* en 1902. Sus jefes de Nueva York estaban encantados, y Brown recibió la orden de aportar más fósiles a la gran ciudad. A lo largo de los años siguientes, ataviado con su abrigo de piel y con su zapapico colgado del hombro, prospectó los riscos, los barrancos y los cauces de arroyos secos a lo largo del río Missouri y más hacia el sudeste. Los fósiles iban apareciendo y, pasado un tiempo, Brown llegó a comprender la geología de la zona. Todos los huesos estaban enterrados dentro de una gruesa secuencia de rocas que formaban gran parte de la topografía de las tierras yermas, un pastel de capas de rojos, anaranjados, pardos, tostados y negros, constituidas por arena y fango, depósitos de ríos antiguos. Le dio a estas rocas la denominación de formación Hell Creek.

Las rocas de Hell Creek se formaron hace entre 67 y 66 millones de años, aproximadamente, por una maraña de ríos que drenaba las jóvenes montañas Rocosas, al oeste, y que después serpenteaban por una vasta llanura de inundación, en ocasiones sobrepasando sus orillas y llenando lagos y pantanos, antes de vaciarse hacia el este en el gran canal marítimo que cortaba Norteamérica en dos. Se trataba de entornos fértiles, exuberantes, un

marco ideal para que pudieran prosperar numerosos tipos de dinosaurios. Era también un ambiente en el que se depositaban sedimentos que se transformarían en roca, incluidos los huesos que había atrapados entre ellos. Muchos dinosaurios y muchos sedimentos sería la receta para la abundancia de fósiles.

Hice mi primer viaje a Hell en 2005, un siglo después de que se presentase el *T. rex* de Brown en Nueva York. Yo era un universitario que, un mes después de su primera expedición para buscar dinosaurios, excavaba saurópodos del Jurásico en Wyoming con Paul Sereno. Con el deseo de obtener más experiencia en el trabajo de campo, conduje hasta Montana con un equipo de lo más parecido al museo local de mi tierra, el ya mencionado Museo Burpee de Historia Natural de Rockford, en Illinois.

En principio, nadie se imaginaría que hay un museo de dinosaurios en un lugar como Rockford. Para empezar, en Illinois no se ha encontrado nunca ni un solo fósil de dinosaurio, debido a que es un estado demasiado llano, demasiado aburrido desde el punto de vista geológico, casi desprovisto de rocas formadas durante la época en la que reinaron los dinosaurios. Y las últimas décadas tampoco han sido generosas con su economía de base manufacturera. Sin embargo, Rockford posee uno de los mejores museos de historia natural del Medio Oeste. Los trabajadores del Museo Burpee suelen referirse él como «el pequeño museo que pudo ser», lo que indica los raros giros del destino que tuvieron que superar. Durante la mayor parte de su existencia, el museo ha constituido poco más que una rancia colección de aves disecadas, rocas y puntas de flecha de los americanos nativos, que asomaban por los recovecos y galerías de lo que antaño fue una gran mansión del siglo XIX. Después, en la década de 1990, recibió una asombrosa donación de un benefactor privado y se le añadió una nueva ala. Hacían falta piezas que exhibir en el espacio de la ampliación, de modo que los administradores

planearon una incursión en Hell Creek para conseguir dinosaurios.

En aquella época, el Museo Burpee tenía un único conservador de paleontología en nómina, un muchacho fornido y de voz suave del norte de Illinois llamado Mike Henderson, enamorado de los desprestigiados fósiles de los gusanos que vivieron cientos de millones de años antes que los dinosaurios. Mike necesitaba ayuda, así que formó un equipo con un amigo de la infancia, un tipo bullicioso y parlanchín llamado Scott Williams. Además de los cómics y de las películas de superhéroes, cuando era niño a Scott le encantaban los dinosaurios, pero no tuvo la oportunidad de hacer la carrera de paleontología y terminó siendo policía. Aún lo era —y tenía aspecto de serlo, con esa perilla, una constitución corpulenta y un fuerte acento de Chicago— cuando lo conocí en el Museo Burpee, en mi época de instituto. Unos años más tarde, después de dejar el cuerpo por una carrera a tiempo completo en ciencia, se convirtió en el gestor de las colecciones del museo, y en la actualidad ayuda a administrar una de las mayores colecciones de dinosaurios del mundo, en el Museo de las Rocosas, en Montana.

En el verano de 2001, Mike y Scott llevaron a un equipo ecléctico conformado por personal del museo, estudiantes de geología y voluntarios aficionados hasta el corazón de Hell Creek. Instalaron el campamento cerca de Ekalaka, un pueblecito de Montana con una población de unas trescientas personas, situado no muy lejos de la intersección en forma de T en la que este estado se encuentra con las Dakotas. Brown ya había buscado en estos terrenos, pero Mike y Scott encontraron algo que se le había pasado por alto incluso al maestro. Dieron con el esqueleto mejor y más completo de un *T. rex* joven que jamás se haya encontrado. Era el fósil, la clave gracias a la que los paleontólogos supieron que el Rey era, durante la juventud, un corredor larguirucho, de largo hocico y dientes delgados, antes de metamorfosearse en una bestia trituradora de huesos del tamaño de un camión en la edad adulta.

El fósil descubierto por Mike, Scott y su equipo hizo que el Museo Burpee se convirtiese de inmediato en uno de los actores principales en la investigación sobre dinosaurios. Cuando el esqueleto —al que apodaron Jane, en honor a una donante del museo— se exhibió unos años después, paleontólogos de todo el mundo acudieron a la anónima Rockford, en Illinois, para verlo… como hicieron tantos cientos de miles de niños, familias y turistas. Ahora el Museo Burpee tenía una superestrella que poner a la cabeza de la nueva sala de exposición.

Mike y Scott regresaron a Hell Creek durante los siguientes veranos, en estancias de varios meses. En última instancia, me invitaron a ir con ellos, pero solo después haberme ganado su confianza. Había hecho amistad con Mike y Scott durante las frecuentes visitas al Museo Burpee que había realizado, las cuales dieron comienzo ya cuando estaba en el segundo curso del instituto. Me conocieron como un adolescente repelente obsesionado con los dinosaurios que, con un magnetófono y rotulador indeleble para autógrafos en mano, asistía religiosamente al PaleoFest que el museo organizaba todos los años y en el que había charlas de científicos importantes sobre las aventuras que corrían en el estudio de los dinosaurios. Fue allí, por cierto, donde conocí a los dos eminentes paleontólogos que más tarde se convertirían en mis directores de tesis, Paul Sereno y Mark Norell. Seguí yendo a Rockford durante todo el instituto, y cuando empecé a estudiar de manera formal para convertirme en paleontólogo, en el laboratorio de Sereno, Mike y Scott pensaron que ya estaba preparado para unirme a ellos en el descenso anual a Hell.

Mil quinientos kilómetros separan Rockford de Ekalaka. Cuando llegamos, nos instalamos en un lugar llamado Campamento Needmore, un conjunto de barracas dormitorio dispersas por entre los frescos pinares que se alzan sobre las tierras yermas. La primera noche permanecí despierto por el gemido de un

sintetizador que procedía de una de las cabañas cercanas. Era el dormitorio que ocupaba un trío de voluntarios que había llegado por separado desde Rockford, todos ellos profesionales que buscaban hacer un paréntesis de la rutina del despacho. El cabecilla era un tipo bajo y extravagante, cuyo nombre, Helmuth Redschlag, hacía pensar en un arrogante general prusiano, cuando lo cierto es que procedía del centro de Estados Unidos y tenía una profesión mucho menos agitada, puesto que era arquitecto. Todas las noches él y sus amigos celebraban fiestas hasta bien entrada la madrugada, en las que se hartaban de filete miñón y de quesos italianos importados y bebían cervezas belgas afrutadas, al ritmo de la peor música disco. Aun así, todas las mañanas se levantaban a las seis, dispuestos a volver al horno de Hell Creek tras la pista de los dinosaurios.

«Hace que me sienta vivo: el calor, los rayos de sol desplomándose desde arriba, quemando, atacando cuello y espalda; la desesperación por tener un poco de sombra y agua», me dijo Helmuth en la calma de una mañana, antes de que nos adentráramos en el infierno. «Ajá, ajá», asentía yo con la cabeza, sin estar seguro de lo que pensar.

Un par de días más tarde, mientras prospectaba con Scott y algunos de los estudiantes voluntarios, Helmuth nos llamó agitado. Algo había llamado su atención mientras vagaba a algunos kilómetros siguiendo la carretera, gozando del dolor que le causaba el sol sobre la piel; era de una protuberancia de color pardo oscuro que destacaba en las aburridas rocas de pizarra de color tostado mate. La vista de Helmuth captaba muchas cosas —después de todo, era arquitecto, y de los buenos—, y la atención que prestaba a los detalles de las formas y las texturas lo hacían un buen buscador de fósiles. Tuvo la sensación de que este era especial, de modo que empezó a excavar en la ladera. Para cuando llegamos al lugar, ya había dejado al descubierto un fémur y varias costillas y vértebras, así como parte del cráneo

de un dinosaurio. Los huesos de la cabeza revelaban su identidad. Muchos de ellos eran fragmentos de forma aleatoria de algo plano y parecido a un plato, un poco como cristal fragmentado, y otros eran conos puntiagudos y afilados, es decir, cuernos. Solo un dinosaurio del ecosistema de Hell Creek correspondía a este perfil, y no era otro que *Triceratops*, con tres cuernos en la cara y un amplio y grueso volante, casi como un panel que se extendía desde detrás de los ojos.

Al igual que su archienemigo *T. rex*, *Triceratops* es un dinosaurio icónico. En películas y documentales suele representar el papel de herbívoro bonachón y simpático, la perfecta némesis del Rey Tirano. Sherlock frente a Moriarty, Batman frente al Joker, Trice frente a Rex. Pero no se reduce todo a la magia del cine, ya que estos dos dinosaurios habrían sido realmente rivales hace 66 millones de años. Convivieron a lo largo de lagos y ríos de un mundo que ha quedado registrado en Hell Creek, en el que fueron las dos especies más comunes, en vista de que *Triceratops* constituye del orden del 40 por ciento de todos los fósiles de dinosaurios de la formación, mientras que *T. rex* ocupa el segundo lugar, con alrededor de un 25 por ciento. El Rey necesitaba unas cantidades inmensas de combustible para accionar su metabolismo, y su camarada tricornudo contaba con catorce toneladas de bistec de primera clase que se movían lentamente. Lo que ocurría en consecuencia es de imaginar. De hecho, los huesos de *Triceratops* con marcas de mordeduras que concuerdan con *T. rex* atestiguan sus luchas pretéritas, pero no hay que pensar ni por un momento que se trataba de una lucha desigual, que siempre se resolvía en favor del depredador. *Triceratops* estaba dotado un conjunto de armas en forma de cuernos, uno robusto, sobre la nariz, y otros dos más largos y delgados sobre cada ojo. Al igual que el volante de la parte posterior de la cabeza, los cuernos quizá aparecieron primero para exhibirse —para hacer que *Triceratops* pareciera atractivo a parejas potenciales, así como para

asustar a los rivales—, pero no hay duda de que los utilizaba para defenderse cuando era necesario.

Triceratops es un nuevo tipo de dinosaurio en esta narración. Pertenece a un grupo de ornitisquios herbívoros llamados «ceratópsidos», descendientes de algunos de los pequeños y rápidos corredores con dientes en forma de hoja del Jurásico temprano, como *Heterodontosaurus* y *Lesothosaurus*. A partir de algún momento del Jurásico, los ceratópsidos siguieron su propia senda evolutiva. Pasaron de andar sobre las patas traseras a caminar con lentitud sobre todas ellas, y empezaron a desarrollar un variado ropero de cuernos y volantes en la cabeza, que crecían y se volvían más llamativos a medida que la cría se transformaba en un adulto que, impulsado por las hormonas, debía atraer a otros miembros de la especie. Los primeros ceratópsidos eran criaturas del tamaño de perros; uno de ellos, *Leptoceratops*, se rezagó hasta el Cretácico tardío, donde convivió con *Triceratops*, un primo mucho mayor que él. A medida que los ceratópsidos fueron aumentando de tamaño, transformándose en una versión bovina de los dinosaurios que fue muy común en Norteamérica durante el Cretácico tardío, sus mandíbulas también sufrieron cambios, orientados a poder engullir grandes cantidades de plantas. Tenían los dientes muy juntos, de modo que las mandíbulas eran esencialmente filos: cuatro en total, uno a cada lado de la mandíbula superior y uno a cada lado de la inferior. Estas se cerraban en un movimiento sencillo, de arriba abajo, y las hojas opuestas producían un corte de guillotina al deslizarse una sobre otra. El hocico estaba rematado por un pico aguzado como una navaja, con el que arrancaba los tallos y hojas, y los pasaba a los filos. *Triceratops* debía de ser un comedor de plantas tan bueno como *T. rex* lo era de carne.

El hallazgo de un *Triceratops* fue otro golpe maestro para el Museo Burpee, justo lo que hacía falta para acompañar al *T. rex* adolescente en el

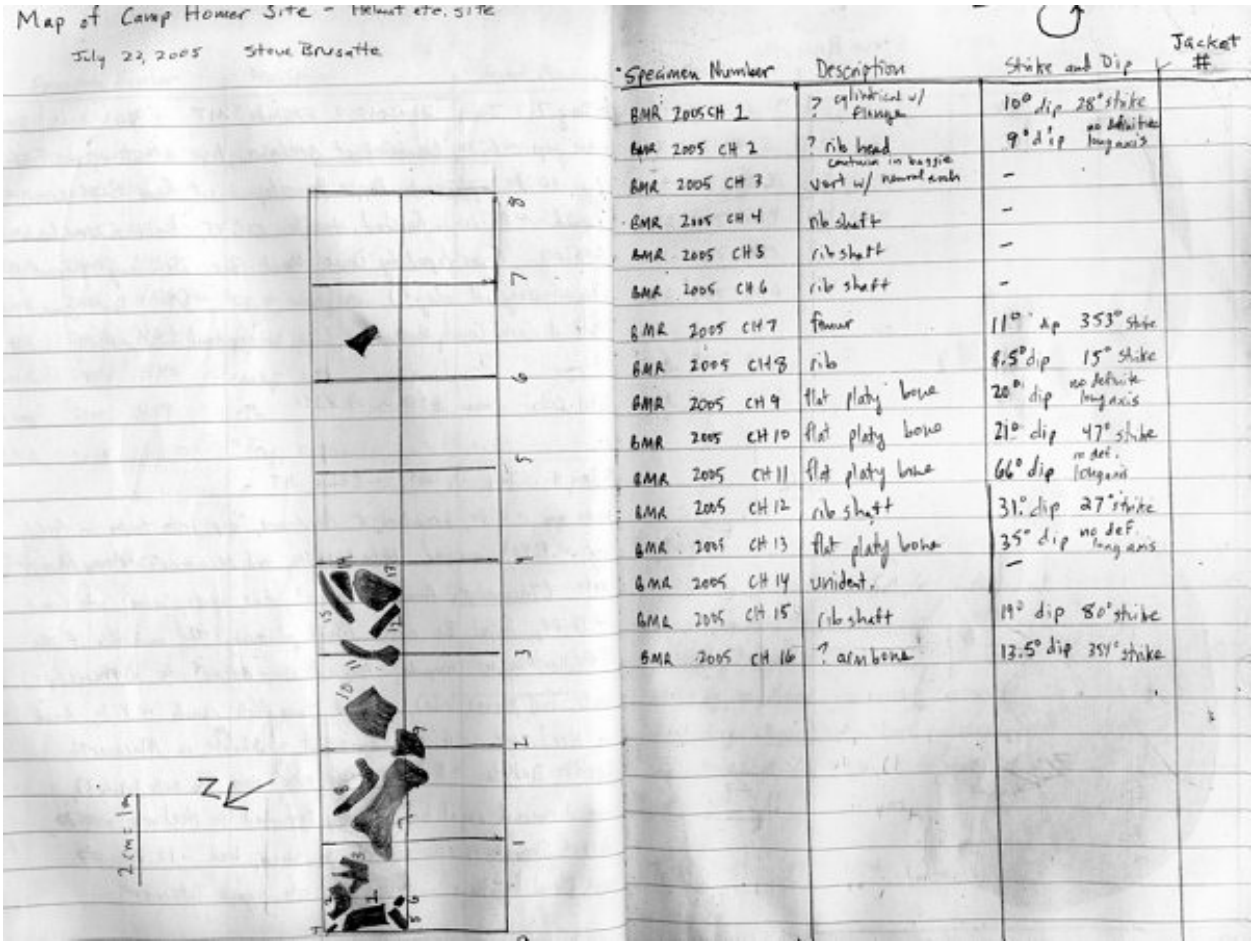
nuevo espacio de exposición. Desde el momento en que Helmuth nos mostró los huesos que afloraban en el suelo, vi claro que eso era lo que de hecho estaban pensando Mike y Scott. También el propio Helmuth, quien además, como descubridor del nuevo dinosaurio, tenía que darle un apodo. Como yo, es un gran fan de *Los Simpson*, de modo que decidió llamarlo Homer. Suponíamos que, algún día, Homer se uniría a Jane en las salas del Museo Burpee.

Pero primero teníamos que extraerlo del suelo. El equipo empezó a envolver los fósiles a la vista en vendajes de yeso, para protegerlos durante el transporte de retorno a Rockford. A otros se les encomendó seguir con la búsqueda de huesos. Thomas Carr —ese amigo bebedor de absenta y vestimenta gótica que estudia a *T. rex*—, que estaba con nosotros en aquella expedición, formaría parte del equipo. Vestido de caqui —hacía demasiado calor para su atavío usual, todo negro— y bebiendo Gatorade a litros —la absenta era más bien una ocupación de interior—, se dedicó a atacar las pizarras con su martillo de geólogo, al que apodaba Warrior, y con su zapapico, Warlord, y sacó a relucir varios huesos nuevos de *Triceratops*. A medida que Thomas y otros fueron acometiendo la ladera, más huesos ocultos quedaban al descubierto. Al final, la superficie excavada se extendía por unos sesenta y cuatro metros cuadrados, que dieron más de ciento treinta huesos.

Cráneo de *Triceratops*, el dinosaurio cornudo por excelencia.

Pronto el yacimiento se hizo muy complejo, de modo que Scott me encomendó que levantara un mapa, habilidad que yo había aprendido de Paul Sereno durante el mes anterior. Dispuse una cuadrícula de metro por metro de cordel anudado a unos escoplos clavados en la roca. Con la referencia de la cuadrícula, esbocé la situación de cada hueso en mi cuaderno de campo. En la página adyacente, identifiqué cada uno de ellos, les asigné un número y tomé notas del tamaño y de la orientación. De esta manera, empezamos a ordenar el caos.

Un revoltijo de huesos de *Triceratops* en la localidad de Homer, que pertenecen a una manada joven.



Mi cuaderno de campo de la expedición de 2005 del Museo Burpee a Hell Creek, con el mapa de campo de la localidad de *Triceratops* en Homer.

El mapa y el inventario de los huesos revelaron algo peculiar. Había tres ejemplares del mismo hueso, más concretamente del nasal izquierdo, que constituye la parte anterior y lateral del hocico. Cada *Triceratops* tenía solo un nasal izquierdo, de la misma manera que solo tenía una cabeza o un cerebro. Así que adquirimos consciencia de que contábamos con tres *Triceratops*; no solo estaba Homer, sino también Bart y Lisa. Helmuth había encontrado un cementerio de *Triceratops*.

Era la primera vez que alguien encontraba más de un *Triceratops* en el mismo lugar. Hasta la incursión de Helmuth en el barranco, pensábamos que era un animal solitario, algo de lo que estábamos relativamente seguros,

porque era muy común, y se conocían centenares de fósiles, hallados a lo largo de más de un centenar de años, cada uno de un único individuo, aislado en su entorno. Pero un descubrimiento puede cambiarlo todo y, debido al hallazgo de Helmuth, ahora tenemos la idea de que *Triceratops* era una especie que vivía en manadas.

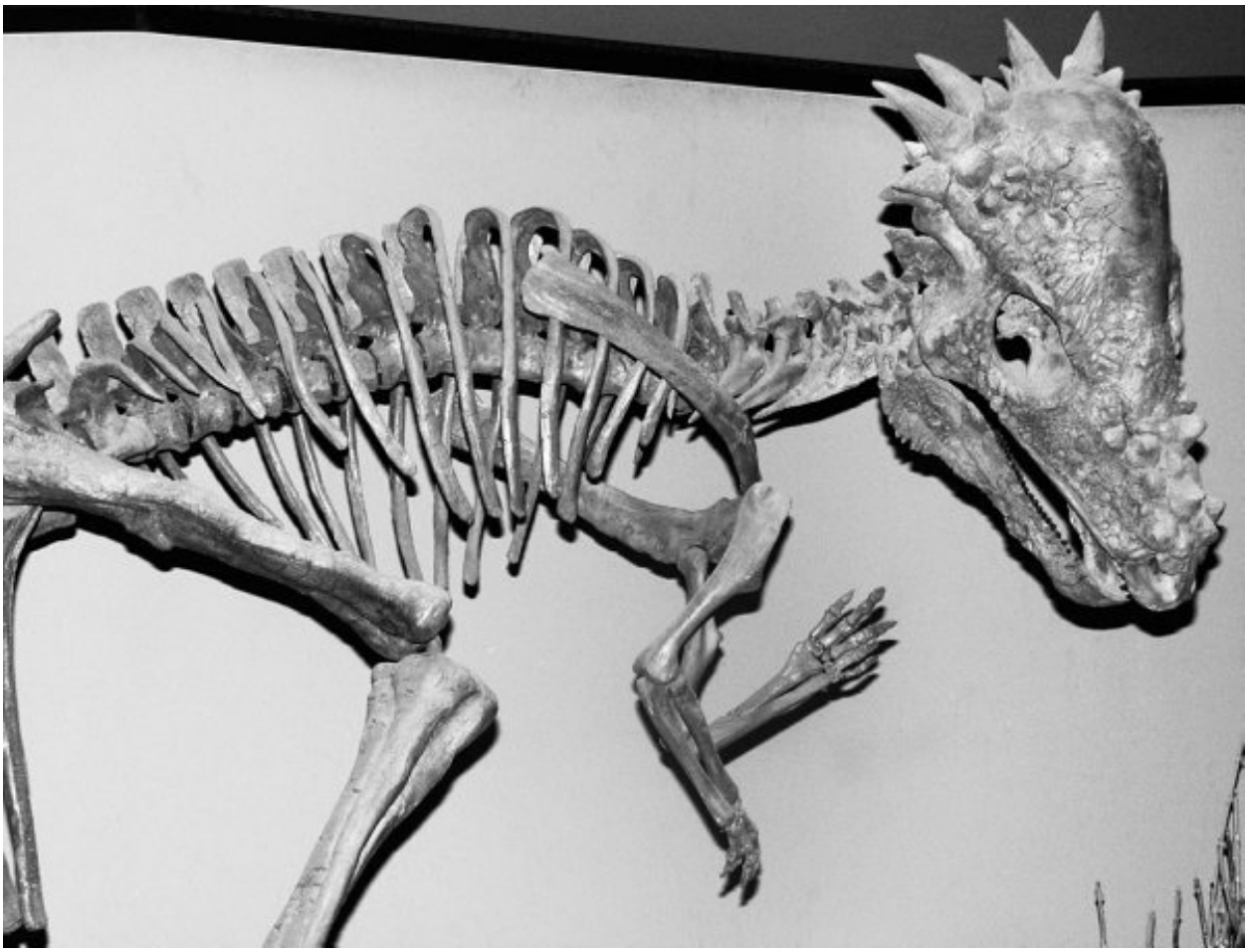
En realidad, no sorprende demasiado, porque existen muchas pruebas de que ciertos primos cercanos de *Triceratops* —algunas de las otras especies grandes de ceratópsidos cornudos que vivían en otras partes de Norteamérica durante los últimos 20 millones de años del Cretácico— eran animales sociales que vivían en grupos grandes. Una de dichas especies, *Centrosaurus*, que vivió en lo que en la actualidad es Alberta unos 10 millones de años antes de *Triceratops* y al que un cuerno gigante le surgía de la nariz, también se ha encontrado en un lecho de huesos, y no uno tan modesto como el de la localidad de Homer, sino de una superficie de casi trescientos campos de fútbol, en la que se hallaban sepultados más de mil individuos. También se han encontrado otros tantos ceratópsidos en fosas comunes, lo que proporciona una importante prueba circunstancial de que estas especies de herbívoros cornudos, grandes y lentos eran comunales. Así, una imagen evocadora se viene a la mente: es probable que estos dinosaurios se desplazasen a través del occidente de Norteamérica durante el Cretácico tardío en vastos rebaños, que constarían de muchos miles de individuos, haciendo retumbar el suelo y levantando nubes de polvo mientras roturaban el paisaje, de manera no muy distinta a como lo harían los bisontes que conquistarían las mismas llanuras muchos millones de años más tarde.

Después de terminar el trabajo en la localidad de Homer, seguimos con la prospección de los kilómetros de monótonas tierras yermas que había alrededor de Ekalaka, tratando de empezar cada día a primera hora de la mañana para evitar lo peor del calor. Encontramos muchos otros fósiles de

dinosaurios, ninguno tan importante como Homer, en la forma de indicios de algunos de los demás animales que compartieron las llanuras de inundación del Cretácico tardío con *Triceratops* y *T. rex*. Descubrimos docenas de dientes de carnívoros más pequeños, entre ellos raptores dromeosáuridos del tipo de *Velociraptor*, así como los dientes de un animal del tamaño de un poni llamado *Troodon*, un pariente próximo de los raptores que desarrolló el gusto por una dieta más omnívora. También hallamos algunos huesos del pie de unos terópodos omnívoros del tamaño de un hombre llamados «ovirraptorosaurios», unos dinosaurios extraños, desdentados, con unas llamativas crestas de hueso sobre el cráneo y unos picos agudos adaptados a una alimentación muy variada, desde nueces y marisco a plantas y pequeños mamíferos y lagartos. Otros fósiles indicarían dos tipos distintos de herbívoros: un ornitisquio bastante aburrido llamado *Thescelosaurus*, del tamaño aproximado de un caballo, y un animal algo mayor y mucho más interesante llamado *Pachycephalosaurus*, uno de los dinosaurios de «cabeza en domo», con un cráneo que parecía una bola de bolos y que empleaba para batear a sus rivales en luchas por el apareamiento y por el territorio.

También dedicamos un par de días a excavar en otra localidad que esperábamos que fuera tan productiva como la de Homer, pero no cumplió con nuestras expectativas, aunque sí nos dio huesos del que es el tercer dinosaurio más común de la formación Hell Creek, otro herbívoro llamado *Edmontosaurus*. Con unas siete toneladas de peso y doce metros desde el hocico a la cola, era, al igual que *Triceratops*, de gran tamaño, pero de un linaje muy distinto, ya que se trataba de un hadrosaurio, un miembro del clan de dinosaurios de pico de pato que había evolucionado a partir de una rama separada del árbol genealógico de los ornitisquios. Fueron también muy comunes en el Cretácico tardío, en particular en Norteamérica; andaban sobre dos o sobre cuatro patas, en función de lo deprisa que quisieran desplazarse, y

se comunicaban mediante berridos, unos sonidos producidos por las complicadas cámaras nasales como espaguetis retorcidos que había en el interior de las complejas crestas cefálicas. Muchos de ellos vivían en manadas. El apodo les viene del pico amplio y sin dientes, parecido al de los patos, situado en la parte anterior de su hocico, que usaban para arrancar ramitas y hojas. Al igual que los ceratópsidos, tenían unas mandíbulas conformadas como tijeras, pero con más dientes y más estrechamente apretados, que, además, no se limitaban a cadencias simples hacia arriba y hacia abajo, sino que podían pivotar de un lado a otro e incluso moverse hacia fuera con una especie de mecanismo de bisagra, lo que les permitía ejecutar movimientos masticatorios complejos. Era uno de los mecanismos de alimentación más intrincados que la evolución haya producido jamás.



Pachycephalosaurus, el dinosaurio de cabeza en domo, con la que embestía, de Hell Creek.

Los hadrosaurios, y probablemente también los ceratópsidos, tenían estas mandíbulas tan sofisticadas por una razón. La evolución los había adaptado para alimentarse de un nuevo tipo de planta que había aparecido con anterioridad, durante el Cretácico, las angiospermas, es decir, las plantas con flores. Aunque en la actualidad las plantas con flores son abundantísimas —en ellas se basa gran parte de nuestro alimento, así como la decoración de nuestros jardines—, habrían sido desconocidas para los primeros dinosaurios que surgieron en Pangea en el Triásico. También lo fueron para los gigantescos saurópodos cuellilargos del Jurásico, que comían otros tipos de vegetación, como helechos, cicas, ginkgos y árboles perennifolios. Después, hace unos 125 millones de años, en el Cretácico temprano, aparecieron en Asia pequeñas flores. Al cabo de otros 60 millones de años de evolución, estas protoangiospermas se habían diversificado en toda una gama de arbustos y árboles, entre los que se incluían palmeras y magnolias, que tachonaban el paisaje del Cretácico tardío y que constituían un forraje sabroso para los nuevos tipos de dinosaurios herbívoros que las podían comer. Quizá había también un poco de hierba —un tipo muy especializado de angiospermas— esparcida por el suelo, pero las praderas propiamente dichas no se desarrollarían hasta mucho más tarde, muchas decenas de millones de años después de que los dinosaurios se retiraran.

Así, los hadrosaurios y ceratópsidos comían flores; los paquicefalosaurios, unos ornitisquios de menor tamaño que se daban cabezazos unos contra otros en pruebas de dominancia, se alimentaban de arbustos; unos raptores del tamaño de caniches acechaban a las salamandras, a los lagartos e incluso a algunos de nuestros primeros parientes mamíferos, a los que se conoce a partir de los fósiles de Hell Creek; una variedad de omnívoros, como

Troodon y los peculiares ovirraptorosaurios, recogían cualesquiera sobras que los carnívoros y herbívoros más especializados dejasen olvidadas. Otros dinosaurios que todavía no he mencionado, como los velocísimos ornitomimosaurios y los fuertemente acorazados *Ankylosaurus*, luchaban por sus propios nichos, mientras que los pterosaurios y las aves primitivas se remontaban en las alturas y los cocodrilos acechaban aguas afuera en ríos y lagos. No había un solo saurópodo a la vista, y el Rey, el gran *T. rex*, reinaba sobre todo ello.

Así era el Cretácico tardío de Norteamérica, el broche de oro final de los dinosaurios antes de que acaeciera el desastre. Debido a la enorme cantidad de fósiles descubiertos por tanta gente, desde Barnum Brown a los equipos del Museo Burpee, es el ecosistema de dinosaurios conocido de forma más rica por la ciencia de toda la Era de los Dinosaurios en cualquier parte del mundo, la mejor imagen que tenemos de cómo diversas especies de dinosaurios convivían y encajaban en una única cadena trófica.

La situación era muy parecida en Asia, donde grandes tiranosaurios como mi Pinocho Rex reinaban sobre comunidades de dinosaurios con picos de pato, con cabeza en domo, raptores y terópodos omnívoros, debido a la cercanía física con Norteamérica, que permitía el intercambio regular de especies entre los dos continentes.

Mientras tanto, al sur del ecuador las cosas eran muy distintas.

Casi en pleno centro de Brasil, hay una meseta de suaves ondulaciones que antaño estuvo cubierta por una sabana arbolada, pero que ahora es un terreno agrícola de excelente calidad. Allí la gente cultiva algunas de las mismas plantas que se encuentran en los campos que se extienden entre mi ciudad natal y el Museo Burpee —en su mayoría, maíz y soja—, pero también otras

cosas más exóticas como caña de azúcar, eucaliptos y toda una gama de frutas extrañas pero deliciosas. Esta región se llama Goiás, y es un estado interior de unos seis millones de habitantes, entrecruzado por autopistas solitarias. La capital nacional, Brasilia, se encuentra al lado, y el Amazonas corre a mil quinientos kilómetros al norte. Pocos turistas extranjeros llegan hasta aquí.

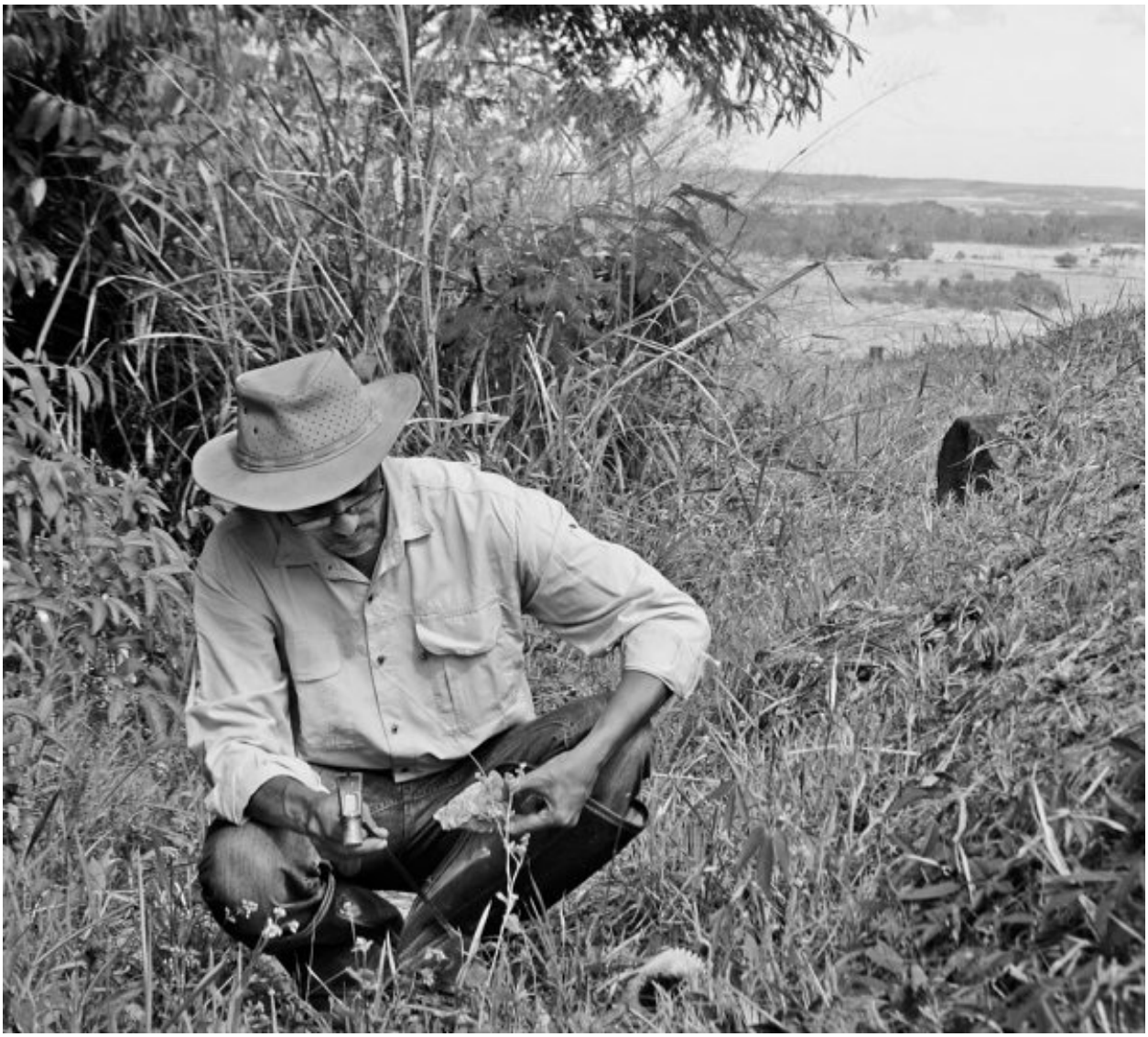
Sin embargo, la región alberga muchos secretos. No lo parece, en virtud de una topografía prosaica, pero bajo el suelo de las granjas se esconde un paisaje que se hallaba en la superficie hace entre 86 y 66 millones de años. Se trataba un terreno desértico azotado por el viento en los márgenes de grandes valles fluviales, representados en la actualidad por unos cimientos de roca de trescientos metros de espesor, sobre los que se asientan los campos de cultivo de maíz y soja. Estas rocas se moldearon a partir de las dunas de arena, de los ríos y de los lagos del Cretácico tardío, en lo que entonces era una gran cuenca formada por las tensiones residuales de la separación entre Sudamérica y África. Esta cuenca era un paraíso para los dinosaurios.

Las rocas del Cretácico de Goiás permanecen en su mayor parte enterradas, pero afloran aquí y allá sobre el terreno, junto a las carreteras o a las riberas. Pero las canteras son el mejor lugar para verlas, allí donde la maquinaria pesada ha desgarrado la tierra para poner al descubierto las capas de arenisca y pizarra que hay debajo. Un día de principios de julio de 2016 me encontraba precisamente en una, era el inicio del invierno austral, aunque el tiempo era aún bochornoso, tocado con un casco para resguardar mi calva de la caída de piedras y con unas canilleras para protegerme de un peligro todavía mayor, el de las serpientes. Me había invitado a Brasil Roberto Candeiro, un profesor de la Universidade Federal de Goiás, la principal universidad del estado, y experto en los dinosaurios de Sudamérica. Yo había excavado y estudiado muchos dinosaurios del Cretácico tardío de

Norteamérica y Asia, pero Roberto me aconsejó que buscase una perspectiva austral. No mencionó las serpientes como parte de las condiciones.

Unos años antes, Roberto había iniciado un nuevo programa de geología para universitarios en el campus bordeado por palmeras de su universidad, en los límites en rápido crecimiento de Goiânia, la capital del estado. El encalado blanco de las aulas, cuyos corredores se abrían al suave aire subtropical, contrastaba con las sucias calles y chabolas con techo de aluminio que se encontraban a solo unos pocos kilómetros de distancia. Los ciclomotores se abrían paso ruidosos por entre el tráfico, mientras que unos viejos cortaban cocos con machetes en los arcenes y unos monos se balanceaban en los árboles en la distancia. Cuando vuelva, es probable que muchos de estos residuos del antiguo Brasil hayan desaparecido.

La emoción del nuevo curso, en el brillante campus de la mayor ciudad del entorno, atraía a muchos estudiantes entusiasmados, algunos de los cuales se nos unieron a Roberto y a mí en el viaje hasta la cantera. Allí estaba André, un comediante vivaz y barrigón que volvía a la universidad después de intentarlo con varios trabajos diferentes, como agricultor de papayas, taxista y, hace años, peón de un rancho en el que se encargaba de extraer de forma manual el semen de los cerdos macho y a inseminar artificialmente a las marranas, en una de aquellas grandes granjas de los llanos. Mucho más joven era Camila, de dieciocho años, una mujer cuya corta estatura ocultaba una energía y ferocidad ilimitadas; en su tiempo libre, mitigaba el estrés practicando kickboxing. Y después, Ramon, un rompecorazones alto y bronceado que, con sus pantalones tejanos ajustados y la raya peinada a un lado, podía haber salido directamente de una de esas *boybands* brasileñas cuyos vídeos parecían reproducirse en los televisores de todos los restaurantes.



Roberto Candeiro buscando fósiles en Goiás, Brasil.

La cantera en la que nos congregamos pertenecía a un joven cuya familia se había dedicado a la agricultura en el centro de Brasil durante generaciones. Extraían piedra para obtener fertilizante. Es un extraño tipo de roca que parece cemento, con guijarros de varias formas y tamaños —distintos tipos de pedruscos que los ríos embravecidos del Brasil del Cretácico tardío arrastraron y depositaron— embutidos dentro de una matriz blanca —caliza—. Entre ellos hay unos huesos peculiares, los fósiles de dinosaurios. Quizá

de cada diez o veinte mil guijarros, uno es un hueso, pero los que se pueden encontrar son un tesoro, porque son los restos de algunos de los últimos dinosaurios de Sudamérica, especies que vivieron aproximadamente por la misma época que *T. rex*, *Triceratops* y toda la banda de Hell Creek en el norte.

Pero, por desgracia, después de muchas horas de buscar, no encontramos ningún hueso en la cantera durante mi visita. Tampoco nos mordió ninguna serpiente, de modo que, cuando llegué a casa del campo tenía una sensación extraña, con las manos vacías pero feliz. Más adelante, durante el mismo viaje, encontramos algunos huesos en otros lugares, pero solo fragmentos. Esta vez no habría nuevas especies, lo que suele ser el caso cuando se explora una región nueva, porque resulta una tarea ardua, que depende de la suerte y las circunstancias. Pero Roberto ha dirigido muchas de esas incursiones de campo durante la última década, a menudo llevando consigo a su heterogéneo equipo de estudiantes, y han encontrado muchos huesos. Conserva algunos de ellos en su laboratorio de Goiânia, donde pasé el resto de la estancia en Brasil, trabajando con él y otro de sus colegas, un geólogo de una compañía petrolera llamado Felipe Simbras, que estudia dinosaurios como pasatiempo.

Es sorprendente no ver ningún *T. rex* al examinar los fósiles que hay en los estantes del laboratorio de Roberto. De hecho, no hay tiranosaurios de ninguna especie que se conozca del Cretácico tardío de Brasil. Si el lector se pasa un día transitando por las tierras yermas de Hell Creek en Montana, probablemente encontrará varios dientes de *T. rex*; así de comunes son. Pero en Brasil, nada de nada, ni en ninguna otra parte de la mitad austral del planeta. En cambio, Roberto tiene cajones con dientes de otros tipos de dinosaurios carnívoros. Varios pertenecen a un grupo que ya hemos conocido, los carcarodontosaurios, aquel clan de enormes carnívoros que evolucionaron a partir de los alosaurios y aterrorizaron a gran parte del

planeta en el Cretácico. Algunos de ellos, como el *Carcharodontosaurus* de África, que estudié con Paul Sereno, acabaron por alcanzar tamaños que rivalizaban con *T. rex*. Al norte, los carcarodontosaurios iban y venían, y dominaron durante decenas de millones de años antes de ceder la corona a los tiranosaurios en el Cretácico medio. En el sur, se mantuvieron hasta el final mismo del Cretácico, conservando el título de pesos pesados gracias a que no había tiranosaurios a su alrededor que se lo quitaran.

En Brasil se encuentra con cierta frecuencia otro tipo de dientes. Son también láminas aguzadas y aserradas, de modo que tienen que proceder de la boca de un carnívoro, pero por lo general son un poco más pequeños, más delicados. Pertenecen a un grupo diferente de terópodos llamados «abelisáuridos», un retoño de una estirpe relativamente primitiva del Jurásico que encontró los continentes australes listos para ser ocupados durante el Cretácico. Un esqueleto decente de uno de ellos, llamado *Pycnonemosaurus*, se encontró en Mato Grosso, un estado al este de Goiás. Los huesos están fragmentados, pero se piensa que pertenecieron a un animal que tendría unos nueve metros de largo y pesaría unas dos toneladas.

Se han encontrado esqueletos aún mejores, de abelisáuridos, más al sur, en Argentina, mientras que también se han descubierto otros en Madagascar, África e India. Estos fósiles más completos —*Carnotaurus*, *Majungasaurus* y *Skorpiovenator* entre ellos— revelan que los abelisáuridos eran animales feroces, un poco más pequeños que los tiranosaurios y los carcarodontosaurios, pero que todavía se hallaban en la cima de la cadena trófica o cerca de ella. Poseían un cráneo corto y alto, a veces con unos cuernos regordetes que surgían cerca de los ojos. Los huesos de la cara y del hocico estaban incrustados con una textura rugosa y cicatricial que probablemente sostenía una vaina de queratina. Andaban sobre dos piernas musculosas, como *T. rex*, pero sus brazos eran todavía más patéticos. Aunque

contaba con nueve metros de longitud y un peso de 1,6 toneladas, *Carnotaurus* tenía unos brazos apenas mayores que una espátula de cocina que colgaban inútiles, probablemente casi invisibles si se observase a estos animales en sus ocupaciones cotidianas. Es evidente que los abelisáuridos no necesitaban los brazos, puesto que hacían todo el trabajo sucio con las mandíbulas y las patas.

Un trabajo que consistía, tanto en el caso de los abelisáuridos como en el de los carcarodontosaurios, en dar caza y comerse a los otros dinosaurios con los que vivían, en particular a los herbívoros. Algunos de ellos se parecían a las especies septentrionales; por ejemplo, en Argentina se han encontrado algunos dinosaurios de pico de pato. Pero, en su mayor parte, el grupo de los herbívoros del sur era diferente. No había manadas vibrantes de ceratópsidos como *Triceratops*, ni paquicefalosaurios de cabeza en domo. Sin embargo, había saurópodos. Multitudes de ellos. *T. rex* no perseguía a ninguno de estos titanes de cuello largo en la antigua Montana, pues parece que habían desaparecido de la mayor parte de Norteamérica en algún momento durante la parte media del Cretácico, aunque todavía frecuentaban las áreas meridionales del continente. La cosa no era así en Brasil ni en las demás tierras australes. Allí los saurópodos siguieron siendo los principales herbívoros de gran tamaño hasta el fin mismo de la Edad de los Dinosaurios.

El que se extendía por las tierras meridionales era un tipo concreto de saurópodo. Los días idílicos del Jurásico hacía tiempo que habían terminado, y *Brachiosaurus*, *Brontosaurus*, *Diplodocus* y afines ya no se amontonaban en los mismos ecosistemas, dividiéndose con precisión los nichos entre ellos con sus dientes, cuello y estilos de alimentación distintivos. Lo que quedaba al final del Cretácico era un elenco más restringido de saurópodos, un subgrupo llamado «titanosaurios». Algunos eran de proporciones verdaderamente bíblicas, como *Dreadnoughtus* de Argentina o

Austroposeidon, descritos por Felipe, el petrolero, y sus colegas a partir de una serie de vértebras —cada una del tamaño de una bañera— que se encontraron directamente al sur de Goiás en el estado de São Paulo. Es el mayor dinosaurio que se haya encontrado en Brasil, y probablemente medía veinticinco metros desde el hocico a la cola. No es nada fácil imaginar cuál debió de ser su peso, pero probablemente era de veinte o treinta toneladas, quizá mucho más.

Otros titanosaurios australes que sobrevivieron hasta muy tarde, en Brasil y en otras partes, eran considerablemente menores. Los llamados «eolosaurinos» eran unos animales modestos, al menos en comparación con los saurópodos, ya que algunas de las especies mejor conocidas, como *Rinconsaurus*, pesaban solo cuatro toneladas y medían once metros de largo. Los de otro subgrupo, el de los saltasáuridos, tenían el mismo tamaño medio, y se protegían de los hambrientos abelisáuridos y carcarodontosaurios con una serie de placas de armadura implantadas en su piel, como una colcha de retales.

También sabemos que había algunos terópodos menores, pero nada parecido a la panoplia de omnívoros y de carnívoros, entre pequeños y medianos, de Norteamérica. Quizá ocurra, se puede aducir, que todavía no hemos descubierto sus huesos pequeños y delicados, pero esta no es una explicación muy satisfactoria, porque hay muchos esqueletos de animales de tamaño similar encontrados en Brasil, pero son crocodilios, no terópodos. Algunos de ellos eran habitantes de las aguas medianos que probablemente no habrían tenido mucha competencia con los dinosaurios, pero otros eran animales extraños adaptados a la vida sobre tierra y, por lo tanto, diferentes de los cocodrilos actuales. *Baurusuchus* era un depredador de persecución de largas patas, parecido a un perro. *Mariliasuchus* tenía dientes que se parecían a los incisivos, caninos y molares de los mamíferos, que probablemente usaba

como los cerdos para dar cuenta de una variada dieta omnívora. *Armadillosuchus* era un excavador con una armadura corporal flexible en forma de bandas, y quizá podía hacerse una bola al estilo de los armadillos, de ahí su nombre. Hasta donde sabemos, ninguno de estos animales vivió en Norteamérica. Parece que, en Brasil y en todo el hemisferio sur, estos crocodilios ocupaban los nichos ecológicos que en otras partes del mundo ostentaban los dinosaurios.

Carcarodontosaurios y abelisáuridos en lugar de tiranosaurios, saurópodos en vez de ceratópsidos, enjambres de crocodilios en lugar de raptores, ovirraptorosaurios y otros terópodos de pequeño tamaño. El norte y el sur eran diferentes durante aquellos años de las postrimerías del Cretácico, sin duda. Pero en estas grandes áreas continentales campaba a sus anchas la normalidad, e incluso el aburrimiento, comparadas con lo que estaba ocurriendo al mismo tiempo en medio del Atlántico, donde algunos de los dinosaurios más raros que hayan surgido nunca por evolución saltaban alrededor de los restos inundados de Europa.

De todas las personas que hayan estudiado los dinosaurios, que hayan recolectado huesos de dinosaurios o que hayan incluso pensado en los dinosaurios de una manera seria, nunca ha habido nadie parecido a Franz Nopcsa von Felsö-Szilvás.

El barón Franz Nopcsa von Felsö-Szilvás, debería decir, porque este hombre era en realidad un aristócrata que excavaba huesos de dinosaurios. Parece la invención de un novelista de segunda, un personaje tan excéntrico, tan ridículo, que tiene que haber sido una broma de ficción. Pero era muy real, un pisaverde llamativo y un genio trágico, cuyas hazañas de cuando buscaba dinosaurios en Transilvania fueron breves interludios en una vida

protagonizada por la locura. Lo cierto es que Drácula no es nada comparado con el Barón de los Dinosaurios.

Nopcsa nació en 1877 en una familia noble de las suaves colinas de Transilvania, en lo que hoy es Rumanía, pero entonces en los márgenes de un Imperio austrohúngaro en descomposición. En casa hablaba varios idiomas, y los suyos le infundieron el gusto por la vida errante. Asimismo, desarrolló otro tipo de gustos, y cuando se hallaba en la veintena se convirtió en el amante de un conde transilvano, un hombre mayor que lo entretenía con los relatos de un reino oculto en las montañas del sur, donde habitaba una tribu cuyas gentes vestían ropas elegantes, blandían largas espadas y hablaban en un idioma indescifrable. Los hombres de aquellas montañas llamaban a su patria Shqipëria. En la actualidad, la conocemos como Albania, pero entonces era un remanso en el borde meridional de Europa, ocupado durante siglos por otro gran imperio, el otomano.

El barón decidió comprobarlo por sí mismo. Se dirigió hacia el sur, atravesó las tierras fronterizas que separaban los dos imperios y, cuando llegó a Albania, fue recibido con un tiro de fusil que le atravesó el sombrero y apenas rozó su cráneo. Decidido, recorrió a pie gran parte del país; aprendió el idioma, se dejó crecer el pelo, empezó a vestirse como los nativos y se ganó el respeto de aquellas tribus aisladas, enclavadas entre esas cumbres montañosas. Pero aquellas gentes no hubieran sido tan hospitalarias si hubieran sabido la verdad, y es que Nopsca era un espía. El Gobierno austrohúngaro le pagaba para que proporcionara información sobre sus vecinos otomanos, una misión que se hacía cada vez más importante (y peligrosa) a medida que los imperios se venían abajo y el mapa de Europa se redibujaba con el fuego infernal de la Primera Guerra Mundial.

Esto no quiere decir que el barón fuera un mercenario sin más. Se enamoró de Albania; se obsesionó, de hecho. Se convirtió en uno de los principales

expertos de Europa en la cultura albanesa y llegó a amar a los albaneses con sinceridad… a uno en particular. Nopcsa se enamoró de un joven de una aldea de pastores de las montañas. Este hombre, de nombre Bajazid Elmaz Doda, se convirtió nominalmente en el secretario de Nopcsa, pero era mucho más que eso, aunque de ello no se hablaba de forma abierta en aquella época, menos tolerante. Los dos amantes permanecerían juntos durante casi tres décadas, soportando las miradas maliciosas de sus iguales, sobreviviendo a la desintegración de sus respectivos imperios, viajando por Europa en motocicleta (Nopcsa montado en la moto, Doda en un sidecar). Estaban juntos cuando, en el caos anterior a la Gran Guerra, el barón planeó una rebelión de los hombres de las montañas contra los turcos e incluso pasó armas de fuego de contrabando para organizar un arsenal, y cuando posteriormente intentó situarse como rey de Albania. Ambos planes fallaron, de modo que Nopsca se dedicó a otras actividades.

Resultó que estas tenían que ver con los dinosaurios.

En realidad, Nopsca se había interesado por los dinosaurios antes de saber nada de Albania, antes de conocer a Doda. Cuando tenía dieciocho años, su hermana encontró un cráneo aplastado en la finca familiar. Los huesos se habían convertido en piedra y no se parecían a los de ningún animal que el joven barón hubiera visto escabullirse o volar por sus terrenos solariegos. Lo llevó consigo cuando entró en la universidad, bien entrado aquel mismo año, y cuando se lo mostró a uno de sus profesores de geología, se le dijo que fuera a buscar más. Y así hizo, explorando de manera obsesiva, a pie y a caballo, los campos, colinas y cauces de los ríos de las tierras que más tarde heredaría. Cuatro años más tarde, aristócrata por el nombre pero aún nada más que un estudiante, se hallaba ante los sabios de la Academia de Ciencias Austríaca y anunciaba qué había hecho y cuáles eran sus hallazgos, nada más y nada menos que todo un ecosistema de extraños dinosaurios.

Nopcsa continuó recuperando dinosaurios transilvanos durante gran parte del resto de su vida, con recesos aquí y allá, cuando se requerían sus servicios en Albania. También los estudió, y al hacerlo fue una de las primeras personas en intentar comprender cómo eran los dinosaurios como animales reales y no tratarlos como huesos que había que clasificar sin más. Era un genio cuando se trataba de interpretar los fósiles, y no tardó mucho tiempo en darse cuenta de que había algo raro en los ejemplares que encontraba en su finca. Podía decirse que pertenecían a grupos que eran comunes en otras partes del mundo: una nueva especie a la que denominó *Telmatosaurus* era un pico de pato, una criatura cuellilarga llamada *Magyarosaurus* era un saurópodo, y también encontró huesos de dinosaurios acorazados. Sin embargo, eran de menor tamaño que sus parientes continentales, en algunos casos asombrosamente pequeños; mientras sus primos hacían temblar la tierra con su complexión de treinta toneladas en Brasil, *Magyarosaurus* apenas tenía el tamaño de una vaca. Al principio, Nopcsa pensó que los huesos pertenecían a ejemplares jóvenes, pero, cuando los puso bajo el microscopio, se dio cuenta de que tenían las texturas características de los adultos. Solo había una explicación adecuada: que los dinosaurios de Transilvania eran miniaturas.

Esto planteaba la pregunta obvia de por qué eran tan diminutos. Nopcsa tuvo una idea. Además de tener experiencia en espionaje, en lingüística, en antropología cultural, en paleontología, en motociclismo y en teoría de la conspiración general, el barón también era un muy buen geólogo. Cartografió las rocas que contenían los dinosaurios fósiles y pudo ver que se habían formado en los ríos, en gruesas secuencias de areniscas y pizarras depositadas en los canales o en los márgenes cuando había crecidas. Bajo estas rocas había otros estratos que procedían del océano, compuestos de arcillas finas y esquistos, los cuales estaban repletos de fósiles microscópicos de plancton.

Siguiendo la extensión aérea de las rocas de los ríos y escudriñando los contactos entre los estratos fluviales y los oceánicos, Nopcsa se dio cuenta de que sus tierras habían formado parte de una isla, surgida del agua en algún momento del Cretácico tardío. Los minidinosaurios vivieron en un terreno reducido, probablemente de unos ocho mil kilómetros cuadrados de superficie, el tamaño aproximado de La Española.

Quizá, conjeturó Nopcsa, los dinosaurios eran pequeños debido a ese hábitat insular. Esto surgía de una idea que algunos biólogos de la época estaban empezando a considerar, basándose en los estudios sobre las especies modernas que vivían en islas y en el descubrimiento de algunos extraños fósiles de mamíferos en medio del Mediterráneo. Dicha teoría sostenía que las islas son como laboratorios de la evolución, donde no funcionan algunas de las reglas normales que rigen en las masas continentales mayores. Debido a que las islas están apartadas, las especies que llegan a ellas lo hacen de forma aleatoria, arrastradas por el viento o flotando sobre troncos. Hay menos espacio en las islas, de modo que hay menos recursos, y así algunas especies pueden no llegar a ser tan grandes. Y, puesto que las islas están separadas del continente, las plantas y animales pueden evolucionar en un aislamiento espléndido, con un ADN desconectado del de sus primos continentales, y a lo largo del tiempo cada generación endogámica de estos organismos insulares se torna más diferente, más peculiar. Esta es la razón, pensaba Nopcsa, por la que los dinosaurios insulares eran tan diminutos y tenían un aspecto tan cómico.

Investigaciones posteriores demostraron que Nopcsa estaba en lo cierto, y sus dinosaurios enanos se consideran ahora un ejemplo fundamental de la acción del «efecto insular». Por otro lado, la suerte no le fue tan favorable al barón. Austria-Hungría estuvo en el bando perdedor de la Gran Guerra, y Transilvania se entregó a uno de los vencedores, Rumanía. Perdió sus tierras

y su castillo, y un intento insensato de reclamar sus propiedades se saldó con un apaleamiento por parte de una cuadrilla de campesinos, que lo dieron por muerto y lo abandonaron en una cuneta. Sin el dinero necesario para sostener su lujoso estilo de vida, Nopcsa aceptó a regañadientes la dirección del Instituto Geológico Húngaro de Budapest, pero no estaba hecho para la vida burocrática, de modo que abandonó el trabajo. Vendió sus fósiles y se desplazó a Viena con Doda, desahuciado y agobiado por una melancolía que en la actualidad seguramente reconoceríamos como depresión. Al final, se hartó. En abril de 1933, el otrora barón puso un sedante en el té de su amante. Cuando Doda se durmió, Nopcsa le descerrajó un tiro, y después dirigió el revólver contra sí mismo.

La trágica desaparición de Nopcsa dejó un misterio. El barón había descifrado el enigma de los dinosaurios insulares y sabía por qué eran pequeños, pero casi todos los huesos que había encontrado (ya se tratara de un saurópodo, de un pico de pato o de un anquilosaurio acorazado), procedían de herbívoros. No tenía ninguna pista de qué depredadores merodeaban en aquel zoológico en miniatura. ¿Acaso había unas versiones estrafalarias de los tiranosaurios o los carcarodontosaurios que dominasen la isla, que quizá hubiesen llegado desde los continentes? ¿Otros tipos de carnívoros, también de estatura diminuta? ¿O quizá no había ningún carnívoro en absoluto, y fue posible que los herbívoros fueran de tamaño reducido porque no había allí nada que los cazara?

Para resolver este problema ha sido necesario un siglo y otro personaje notable, un transilvano cortado por el mismo patrón que Nopcsa, Mátyás Vremir, otro polímata, un hombre de muchos idiomas y un viajero que parte hacia tierras desconocidas con poco más que su mochila. Nunca ha sido espía (hasta donde yo sé), pero ha deambulado durante muchos años por África, trabajando en pozos de petróleo y buscando nuevos lugares de perforación.

Ahora dirige su propia compañía en su ciudad natal, Cluj-Napoca, y realiza estudios ambientales y consultoría geológica para proyectos de construcción. También hace otras muchas cosas, como esquiar y explorar cuevas en los Cárpatos, navegar en canoa por el delta del Danubio y escalar en roca, actividades en las que a veces le acompañan su mujer y sus dos hijos adolescentes, aspecto en el que se aparta de Nopcsa. Alto y enjuto, con el pelo largo de un rockero y los ojos penetrantes de un lobo, tiene un estricto código de honor personal y no soporta fácilmente a los idiotas —o, en realidad, no los soporta en absoluto—, pero si le caes bien y te respeta, irá a la guerra contigo. Es una de las personas que más me gustan de todo el mundo. Si alguna vez me encuentro en algún peligro real, en algún rincón del planeta dejado de la mano de Dios, Mátyás es la persona a la que querría tener a mi lado, un hombre al que sé que le podría confiar mi vida.

Aunque tiene muchos talentos, sin duda lo que mejor se le da es encontrar dinosaurios. Junto con mi amigo Grzegorz, ese polaco que había encontrado todas aquellas huellas de los primeros dinosauromorfos, Mátyás tiene el mejor olfato para encontrar fósiles que conozco. Y parece que no le cueste ningún esfuerzo; cuando estamos en Rumanía, Mátyás paseando en bermudas y con un cigarrillo colgándole de los labios, y yo engalanado de la cabeza a los pies con mi caro equipo de campo, siempre es él el que ve los fósiles buenos. Pero lo cierto es que no es tan fácil. Lo que ocurre es que Mátyás es implacable; cuando huele un fósil, vadeará los ríos helados del invierno rumano, descenderá en rápel por acantilados de treinta metros o se contorsionará para penetrar en las cuevas más estrechas y profundas. Una vez lo vi abrirse paso a través de los rápidos de un río, con el pie roto, porque había visto un hueso que sobresalía en la orilla opuesta.

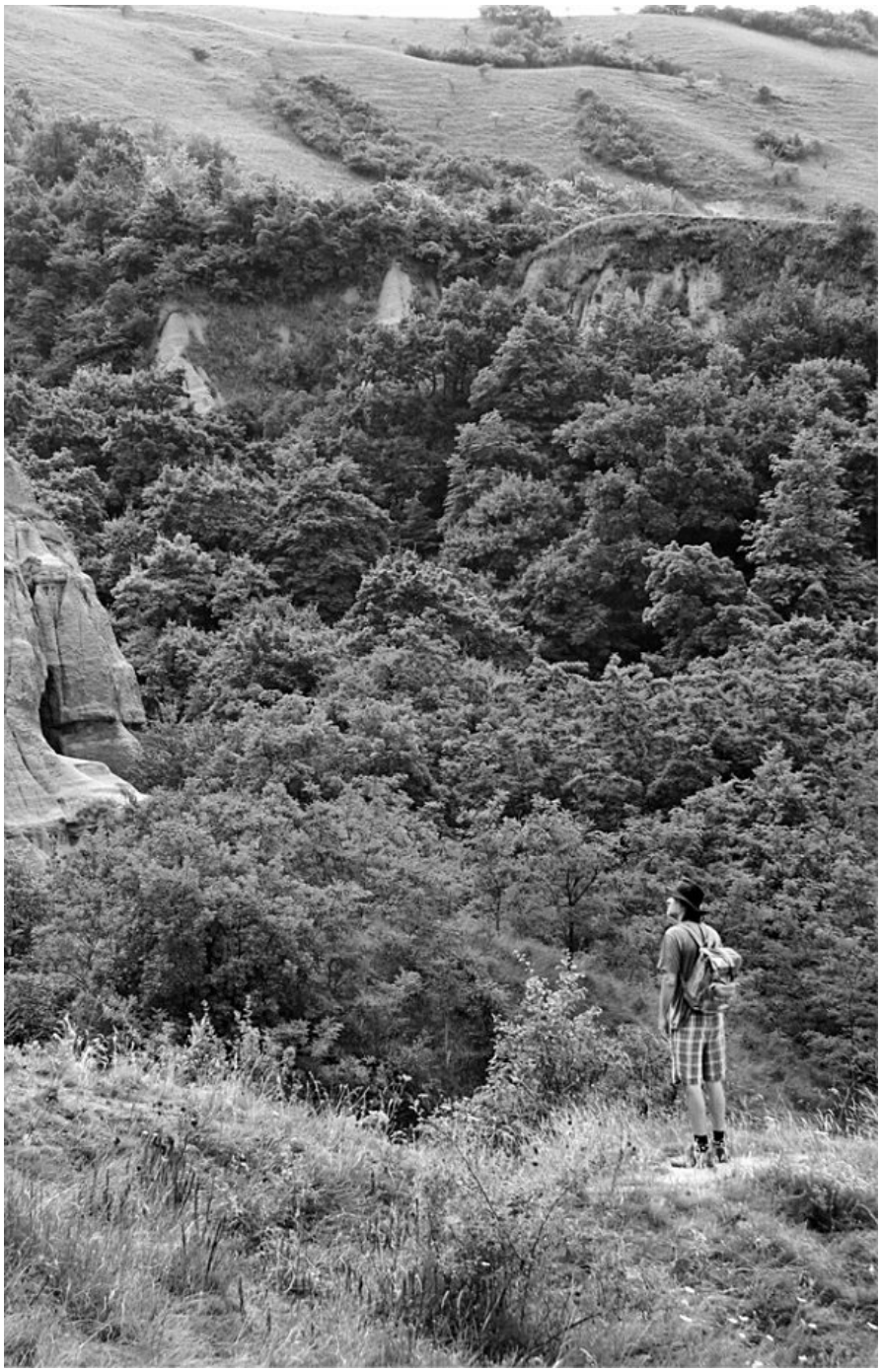
En ese mismo río, en el otoño de 2009, Mátyás hizo el descubrimiento más importante de su vida. Estaba prospectando con sus chicos, cuando vio unos

burujos del color blanco de la creta, que surgían de unas rocas de color rojo herrumbroso, a pocos metros por encima de la superficie del agua. Se trataba de huesos. Agarró las herramientas y se puso a rascar la blanda pizarra, y fueron apareciendo más, hasta evidenciarse las extremidades y el torso de una criatura del tamaño de un caniche. La excitación se transformó rápidamente en temor; una planta eléctrica cercana pronto descargaría agua en el río, y era probable que el incremento de la corriente se llevase los huesos. De modo que Mátyás trabajó con celeridad, pero con la precisión de un cirujano, y extrajo el esqueleto de aquella tumba de 69 millones de años. Lo llevó a Cluj-Napoca, se aseguró de que se guardaba en el museo local y, después, se dispuso a tratar de elucidar qué era. Tenía la completa seguridad de que se trataba de un dinosaurio, pero nunca antes se había encontrado en Transilvania algo parecido. Algún consejo exterior sería útil, de modo que Mátyás escribió un correo electrónico a un paleontólogo que había excavado y descrito una gran variedad de pequeños dinosaurios del Cretácico tardío: Mark Norell, el conservador de dinosaurios del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, el ocupante del antiguo puesto de trabajo de Barnum Brown.

Como yo, Mark recibe muchos correos electrónicos aleatorios de personas que le piden que identifique los fósiles que encuentran, los cuales no son, con frecuencia, más que rocas deformes o burujos de cemento. Pero cuando abrió el correo electrónico de Mátyás y descargó las fotografías que llevaba adjuntas, se quedó patitieso. Lo sé porque yo estaba allí. En aquella época, estaba haciendo el doctorado con Mark y escribía una tesis sobre la genealogía y la evolución de los dinosaurios terópodos. Él me llamó a su despacho —una suite señorial con vistas a Central Park— y me preguntó qué pensaba de aquel mensaje críptico que acababa de recibir desde Rumanía. Ambos estuvimos de acuerdo en que los huesos parecían los de un terópodo

y, cuando investigamos un poco, nos dimos cuenta de que no se habían encontrado nunca buenos esqueletos de dinosaurios carnívoros en Transilvania. Mark contestó a Mátyás, se hicieron amigos y, unos meses después, los tres estábamos juntos en Bucarest, en el frío febrero.

Nos reunimos en el despacho forrado con paneles de madera de uno de los colegas de Mátyás, un profesor de treinta y tantos años llamado Zoltán Csiki-Sava, quien, tras la caída del comunismo, había puesto fin a su reclutamiento forzoso en el ejército de Ceauşescu, había ido a la universidad y se había convertido en uno de los principales expertos europeos en dinosaurios. Teníamos los huesos frente a nosotros sobre una mesa, y era tarea de los cuatro el identificarlos. Viendo el espécimen con nuestros propios ojos, no cabía duda de que se trataba de un terópodo. Muchos de los huesos, ligeros y delicados, se parecían a los de *Velociraptor* y otras especies ágiles y feroces de raptores. El tamaño también era aproximadamente el de esa misma especie, o un poco menor. Pero había algo que no encajaba. El dinosaurio de Mátyás tenía cuatro grandes dedos en los pies de cada pata, de los cuales los dos internos constaban de unas enormes garras falciformes. Los raptores son famosos por unas garras retráctiles de ese tipo, que empleaban para sajar y destripar a las presas, pero solo tenían una en cada pie. Además, solo contaban con tres dedos primarios, no cuatro. Nos hallábamos inmersos en un dilema, pues parecía que podríamos tener entre manos un nuevo dinosaurio.



Mátyás Vremir examinando el Barranco Rojo en Transilvania en busca de los fósiles de los dinosaurios enanos.

A lo largo de la semana seguimos estudiando los huesos, midiéndolos y comparándolos con los esqueletos de otros dinosaurios. Finalmente nos

dimos cuenta. El nuevo terópodo rumano era un raptor, pero uno peculiar, con unos dedos y garras adicionales en comparación con sus parientes continentales. Lo que nos revelaba, explicado a grandes rasgos, era que, mientras los dinosaurios herbívoros de la antigua isla que fue Transilvania veían reducirse su tamaño, los depredadores se volvían raros. No solo estaban el conjunto de dobles garras asesinas y el dedo extra. El raptor rumano era más robusto que *Velociraptor*; además, muchos de los huesos de sus brazos y piernas estaban fusionados, e incluso la mano había degenerado en una masa unida de dedos regordetes y huesos de la muñeca. Era una nueva estirpe de dinosaurio carnívoro, y unos meses después le dimos un nombre científico adecuado, *Balaur bondoc*; el primer término significa «dragón» en rumano antiguo, y el segundo, «corpulento».

Balaur bondoc era el amo y señor de las islas europeas del Cretácico tardío. Menos tirano que asesino, *Balaur* empleaba su arsenal de garras para someter a los saurópodos del tamaño de vacas y a los pico de pato y dinosaurios acorazados de tamaño reducido, todos abandonados en medio de un Atlántico que se elevaba. Hasta donde sabemos, era el mayor dinosaurio carnívoro de las islas. No sabemos qué fósiles encontrará más adelante Mátyás, pero parece bastante seguro que nunca dará con un carnívoro gigante del tipo de los tiranosaurios.

Pie de *Balaur*, el diminuto depredador culminal de la isla que era Transilvania a finales del Cretácico. *Fotografía de Mick Ellison.*

Después de un siglo de buscar, después de reunir miles de fósiles —y no únicamente huesos, sino también huevos y huellas, no solo de dinosaurios, además, sino también de lagartos y mamíferos—, no ha aparecido ni un solo fragmento de un gran carnívoro. Ni siquiera un diente. Seguramente esta ausencia quiere decir algo, a saber, que la isla era demasiado pequeña para sostener a gigantescos monstruos trituradores de huesos, de modo que en la cima de la cadena trófica había animales pequeños y peleones como *Balaur*… otra señal de lo insólitos que estos ecosistemas de dinosaurios tan formidables fueron durante los últimos años del Cretácico.

Una tarde, durante uno de mis viajes a Transilvania, descansamos de la búsqueda de fósiles y fuimos a las colinas. Mátyás detuvo el coche junto a un castillo, cerca de una pequeña aldea llamada Săcel. Antaño, había debido de ser grande, pero ahora estaba en ruinas, abandonado hacía mucho tiempo. Gran parte de la pintura de color verde vivo del exterior se había perdido, y se veían los ladrillos debajo. Las ventanas estaban rotas por completo, los suelos de madera se pudrían y el yeso estaba rociado con grafitis. Unos perros cimarrones vagaban por allí como zombis. Había polvo sobre toda la superficie. Pero, de alguna manera, como si desafiara las leyes de la gravedad y los estragos del tiempo, una orgullosa lámpara de araña colgaba del techo en el vestíbulo. Pasamos bajo ella, nerviosos, y subimos por un trecho de escalera cuyos escalones crujían. Arriba, ante nosotros, se extendía aún más mugre en una sala retumbante que parecía un abismo, con un enorme agujero donde había habido una ventana de mirador.

Había sido allí, hacía cien años, cuando era una biblioteca, donde el barón Nopcsa se sentaba a leer sobre dinosaurios, a aprender los matices de los

huesos y teorizar acerca de por qué los fósiles que encontraba en los terrenos del exterior eran tan extraños. Ese castillo había sido su hogar, la sede de su dinastía durante siglos. Allí habían vivido muchas generaciones de los Nopcsa, y cuando el propio barón se hallaba en el apogeo de sus logros —cuando espiaba a los albaneses para su imperio y daba conferencias sobre dinosaurios por todo el continente ante audiencias numerosas—, debía de parecer probable que otras muchas generaciones seguirían.

Lo mismo les ocurrió a los dinosaurios. Hacia el final del Cretácico —cuando *T. rex* y *Triceratops* luchaban en Norteamérica, los carcarodontosaurios cazaban saurópodos gigantescos por todo el sur y un desfile de enanos había colonizado las islas europeas—, los dinosaurios parecían invencibles. Pero, como los castillos, como los imperios y como los nobles genios con talento para lo dramático, las grandes dinastías de la evolución también pueden caer… a veces cuando menos cabe esperarlo.

8

Los DINOSAURIOS LEVANTAN *el* VUELO

Archaeopteryx

Hay un dinosaurio al otro lado de mi ventana. Lo estoy mirando mientras escribo esto.

No es una fotografía, ni un cartel, ni una copia museística de un esqueleto, ni tampoco uno de esos odiosos cachivaches animatrónicos que se ven en los parques de atracciones.

Es un dinosaurio real, palabra de honor, uno que está vivo, que respira y se mueve, un descendiente de aquellos intrépidos dinosauromorfos que surgieron en Pangea hace 250 millones de años, como parte del mismo árbol genealógico de *Brontosaurus* y *Triceratops*, un primo de *Tyrannosaurus rex* y *Velociraptor*.

Tiene el tamaño aproximado de un gato doméstico, pero con unos largos brazos plegados contra el pecho y un par de patas delgadas y mucho más cortas. Tiene la mayor parte del cuerpo de un color blanco nítido como el de un vestido de novia, pero los bordes de los brazos son grises y la punta de las manos de un negro azabache. Mientras se yergue con las patas rígidas sobre el tejado de la casa del vecino, con la cabeza orgullosamente arqueada hacia arriba, presenta un perfil majestuoso contra las nubes oscurecidas de Escocia oriental.

El sol se abre paso por un momento y capto un destello en sus ojos pequeños y brillantes, los cuales empiezan a moverse rápidamente de un lado a otro. No hay duda de que se trata de un animal de sentidos agudos y gran inteligencia, y está tramando algo. Quizá sepa que lo estoy observando.

Después, sin ningún aviso, abre mucho la boca y emite un chillido agudo, una alarma para sus camaradas, quizá, o una llamada de apareamiento, o tal

vez una amenaza dirigida a mí. Sea lo que sea, puedo oírlo claramente a través del cristal doble, y ahora agradezco que haya entre nosotros una hoja de vidrio.

El bicho, revestido de una suave materia vuelve al silencio y gira el cuello, de manera que ahora me está mirando directamente. Es evidente que sabe que estoy aquí. Mientras espero otro chillido, me sorprende ver que cierra la boca y las mandíbulas se unen en un pico agudo y amarillo, que en la parte anterior hace forma de gancho. Aunque no tiene dientes, el pico parece un arma que puede hacer mucho daño. Consciente de nuevo de que estoy dentro de casa, seguro ante cualquier peligro, golpeo el cristal de manera suave y juguetona.

Entonces el animal se dispone a actuar. Con una gracia que apenas podría describir, levanta los pies palmeados de las tejas de pizarra, extiende los brazos emplumados hacia fuera y salta hacia la brisa. Lo pierdo de vista cuando desaparece sobre los árboles, probablemente camino del mar del Norte.

El dinosaurio que observo es una gaviota. Hay miles de ellas viviendo en los alrededores de Edimburgo. Las veo todos los días, a veces lanzándose en busca de peces en el mar, a unos tres kilómetros al norte de mi casa, pero con más frecuencia observo con asco cómo picotean los envoltorios desechados de hamburguesas y otra basura por la Old Town. En ocasiones veo a alguna tirarse en picado sobre un turista desprevenido, para robarle con ayuda del pico una o dos patatas fritas, antes de salir disparada de nuevo hacia el cielo. Cuando observo este comportamiento —la astucia, la agilidad, la mezquindad—, me resulta fácil ver al *Velociraptor* interior en una gaviota por otro lado nada memorable.

Estas y todas las demás aves evolucionaron a partir de los dinosaurios.

Esto las convierte en dinosaurios. Dicho de otro modo, se puede remontar el acervo de las aves hasta el antepasado común de los dinosaurios, y por lo tanto son tan dinosaurios como *Tyrannosaurus rex*, *Brontosaurus* o *Triceratops*, de la misma manera que mis primos y yo somos Brusatte porque nuestro linaje se remonta al mismo abuelo. Las aves son simplemente un subgrupo de dinosaurios, exactamente igual que los tiranosaurios o los saurópodos, una de las muchas ramas del árbol genealógico de estos.

Se trata de una idea tan importante que bien merece repetirla. Las aves son dinosaurios. Sí, quizá sea difícil que nos entre en la cabeza. A menudo me encuentro con gente que intenta discutírmelo; claro, las aves pueden haber evolucionado a partir de los dinosaurios, dicen, pero son tan diferentes de *T. rex*, *Brontosaurus* y el resto de los dinosaurios con los que estamos familiarizados que no deberíamos clasificarlas en el mismo grupo. Son pequeñas, tienen plumas, pueden volar… no deberíamos llamarlas «dinosaurios». A primera vista, puede parecer un argumento razonable. Pero siempre tengo lista una respuesta rápida en la manga. Los murciélagos parecen muy diferentes de ratones, zorros y elefantes, y se comportan de manera muy distinta que ellos, pero nadie aduciría que no son mamíferos. No, los murciélagos son solo un tipo extraño de mamíferos a los que la evolución proporcionó alas y la capacidad de volar. Las aves no son sino un extraño grupo de dinosaurios con los que ocurrió igual.

Y para que no haya ninguna confusión, estoy hablando de aves, de aves auténticas, reales. No tiene nada que ver con otro de los miembros favoritos de la escena de la Era de los Dinosaurios, los pterosaurios. A menudo llamados «pterodáctilos», se trata de reptiles que planeaban y remontaban a través del aire mediante unas largas alas de piel ancladas en un cuarto dedo (el anular) extendido. La mayoría tenía el tamaño promedio de las aves actuales, pero algunos poseían una envergadura alar más amplia que la de un

aeroplano pequeño. Aparecieron más o menos por la misma época que los dinosaurios, en los días del Triásico, en Pangea, y se extinguieron, como la mayoría de los dinosaurios, al final del Cretácico, pero no eran dinosaurios y no eran aves. Por contra, eran primos cercanos de los dinosaurios. Los pterosaurios fueron el primer grupo de vertebrados que desarrolló alas por evolución y que llegó a volar. Los dinosaurios —en la forma de aves— fueron el segundo.

Esto significa que los dinosaurios están todavía entre nosotros en la actualidad. Estamos muy acostumbrados a decir que se han extinguido, pero, en realidad, sigue habiendo más de diez mil especies de dinosaurios como parte integral de los ecosistemas modernos, a veces como nuestra comida o nuestras mascotas y, en el caso de las gaviotas, como plaga. De hecho, la inmensa mayoría de los dinosaurios murió hace 66 millones de años, cuando el mundo del Cretácico tardío, de *T. rex* contra *Triceratops*, de los saurópodos gigantes de Brasil y de los enanos de la isla que fue Transilvania, se precipitó en el caos. Su reinado terminó, y siguió una revolución que los obligó a ceder el reino a otras especies. No obstante, algunos rezagados consiguieron superar la prueba, unos pocos dinosaurios que tenían lo que hacía falta para resistir. Los descendientes de estos notables supervivientes están vivos en las aves actuales, la herencia perdurable de más de 150 millones de años de dominio de los dinosaurios, de un imperio muerto.

Llegar a la conclusión de que las aves son dinosaurios es probablemente el hecho concreto más importante que hayan descubierto nunca los estudiosos de estos animales prehistóricos. Aunque hemos aprendido muchas cosas de los dinosaurios durante las últimas décadas, no se trata de una idea nueva y radical que haya impulsado la generación de científicos de la que formo

parte. Más bien todo lo contrario: es una teoría que se remonta a muy atrás, a la época de Charles Darwin.

Nos encontramos en 1859. Después de dos décadas de ociosidad y de meditación acerca de sus observaciones de juventud, cuando navegó por el mundo a bordo del *HMS Beagle*, Darwin estaba finalmente listo para hacer público su sorprendente descubrimiento, que las especies no son entidades inmutables, sino que evolucionan a lo largo del tiempo. Tenía incluso un mecanismo para explicar la evolución, un proceso al que denominó «selección natural». En el mes de noviembre lo escribió todo en *El origen de las especies*.

Así es como funciona. Las características de todas las poblaciones de organismos son variables. Por ejemplo, si observamos un grupo de conejos en la naturaleza, tendrán colores de pelaje diferentes en algún grado, incluso si todos pertenecen a la misma especie. A veces, una de estas variaciones confiere una ventaja en la supervivencia —un pelaje más oscuro, pongamos por caso, que pueda ayudar a que un conejo se camufle mejor— y, debido a ello, los individuos con ese rasgo tienen una mayor probabilidad de vivir más tiempo y de reproducirse más. Si esta variación es heredable —si puede transmitirse a la descendencia—, entonces, a lo largo del tiempo, se extenderá entre la población, de manera que todos los conejos de la especie pasarán a tener el pelaje oscuro. Se trata de un proceso de selección natural, por el que se hablaría de que los conejos han evolucionado.

Este mecanismo puede dar lugar incluso a nuevas especies, ya que si una población se divide de algún modo y cada subconjunto sigue su propio camino, las características de cada grupo evolucionarán por selección natural hasta que los dos sean tan diferentes que no puedan reproducirse entre sí; esto querrá decir que se han convertido en especies diferentes. Todas las especies del mundo han aparecido mediante este mismo proceso en el decurso de

miles de millones de años. Significa que todos los seres vivos, modernos y extintos, están emparentados, como primos en un gran árbol genealógico.

Elegante en su simplicidad, de implicaciones absolutamente trascendentales, en la actualidad consideramos que la teoría de Darwin de la evolución mediante selección natural es una de las reglas fundamentales que forman la base del mundo tal como lo conocemos. Dio lugar a los dinosaurios y los moldeó en una variedad fantástica de especies que fueron capaces de dominar el planeta durante mucho tiempo, adaptándose a la deriva de los continentes, a los cambios en el nivel del mar, a las variaciones de temperatura y a las amenazas de los competidores que esperaban arrebatarles la corona. La evolución por selección natural también nos produjo a nosotros y, no nos equivoquemos, sigue en funcionamiento justo ahora, de forma constante, en derredor nuestro. Por eso nos preocupan tanto los superbichos que desarrollan resistencia a los antibióticos, lo que nos obliga a desarrollar nuevas medicinas para situarnos un paso por delante de las bacterias y los virus que nos pueden causar enfermedades.

Algunas personas siguen discutiendo la realidad de la evolución hoy en día, y no diré más sobre esto, pero cualquier discrepancia que tengamos ahora palidece en comparación con lo que ocurría en la década de 1860. El libro de Darwin, escrito en una prosa excelente y accesible para el consumo del público general, desató la ira. Algunas de las ideas más queridas de la sociedad acerca de la religión, la espiritualidad y el lugar de la humanidad en el universo parecían de repente abiertas al debate. Las evidencias y las acusaciones iban de un lado para otro, y ambos bandos estaban alerta para contar con la mejor baza. Para muchos de los que apoyaban a Darwin, la prueba definitiva de la nueva teoría estaría en los «eslabones perdidos», los fósiles de transición que captaran, como una imagen congelada, la evolución de un tipo de animal en otro. No solo demostrarían la evolución en acción,

sino que podrían transmitirla visualmente al público, de una manera que ningún libro ni conferencia podría hacer nunca.

Darwin no tuvo que esperar mucho. En 1861, los obreros de una cantera de Baviera encontraron algo peculiar. Se dedicaban a extraer un tipo de caliza fina que se rompe en delgadas láminas y que en aquella época se usaba para la impresión de litografías. Uno de los mineros, anónimo para la historia, partió una losa y encontró un esqueleto de 150 millones de años de antigüedad de un animal Frankenstein. Tenía garras agudas y una cola larga, como un reptil, pero también plumas y alas, como un ave. Pronto se encontraron otros fósiles del mismo animal en otras de las canteras de caliza que salpican la campiña bávara, entre los que había uno espectacular que conservaba casi todo el esqueleto. Este tenía una espoleta, como un ave, pero contaba con unas mandíbulas revestidas de dientes agudos, como un reptil. Fuera lo que fuere aquel animal, parecía ser medio reptil, medio ave.

Este híbrido del Jurásico fue bautizado *Archaeopteryx* y causó sensación. Darwin lo incluyó en ediciones posteriores de *El origen de las especies* como prueba de que las aves tenían una historia profunda que solo la evolución podía explicar. El extraño fósil captó la atención de uno de los mejores amigos de Darwin y uno de sus defensores más vehementes. A Thomas Henry Huxley quizá se le recuerda mejor como el hombre que acuñó el término «agnosticismo» para describir sus inciertas ideas religiosas, pero en la década de 1860 se le conocía popularmente como el Bulldog de Darwin. Era un apodo que se dio a sí mismo porque era implacable en su defensa de la teoría de Darwin y se enfrentaba a quienquiera que, en persona o por escrito, la difamara. Huxley estuvo de acuerdo en que *Archaeopteryx* era un fósil de transición, que conectaba a reptiles y aves, pero fue un paso más allá. Se dio cuenta de que se parecía extrañamente a otro fósil descubierto en los mismos yacimientos de caliza de Baviera, un pequeño dinosaurio carnívoro llamado

Compsognathus. De modo que propuso su propia y nueva idea radical: la de que las aves descendían de los dinosaurios.

El debate continuó durante el siglo siguiente. Algunos científicos siguieron a Huxley, mientras que otros no aceptaban el eslabón entre dinosaurios y aves. Incluso cuando comenzaron a diluviar nuevos fósiles de dinosaurios provenientes del Oeste americano —los dinosaurios de la formación Morrison del Jurásico, como *Allosaurus* y sus muchos compatriotas saurópodos, o la congregación del Cretácico de Hell Creek, con *T. rex* y *Triceratops*—, no parecía haber evidencia suficiente para zanjar la cuestión. Después, en la década de los veinte, un libro de un artista danés ofreció el argumento simplista de que las aves no podían proceder de los dinosaurios porque aparentemente estos no tenían clavículas —fusionadas en las aves en la espoleta—, y aunque pueda parecer un poco absurdo, fue la perspectiva dominante hasta la década de los sesenta, y en la actualidad somos conscientes de que en realidad los dinosaurios tenían clavículas, de modo que la cuestión es irrelevante. Mientras la beatlemanía recorría el globo, los manifestantes marchaban en favor de los derechos civiles en el sur de Estados Unidos y la guerra arreciaba en Vietnam, el consenso era que los dinosaurios no tenían nada que ver con las aves. No eran más que primos muy distantes que se parecían algo.

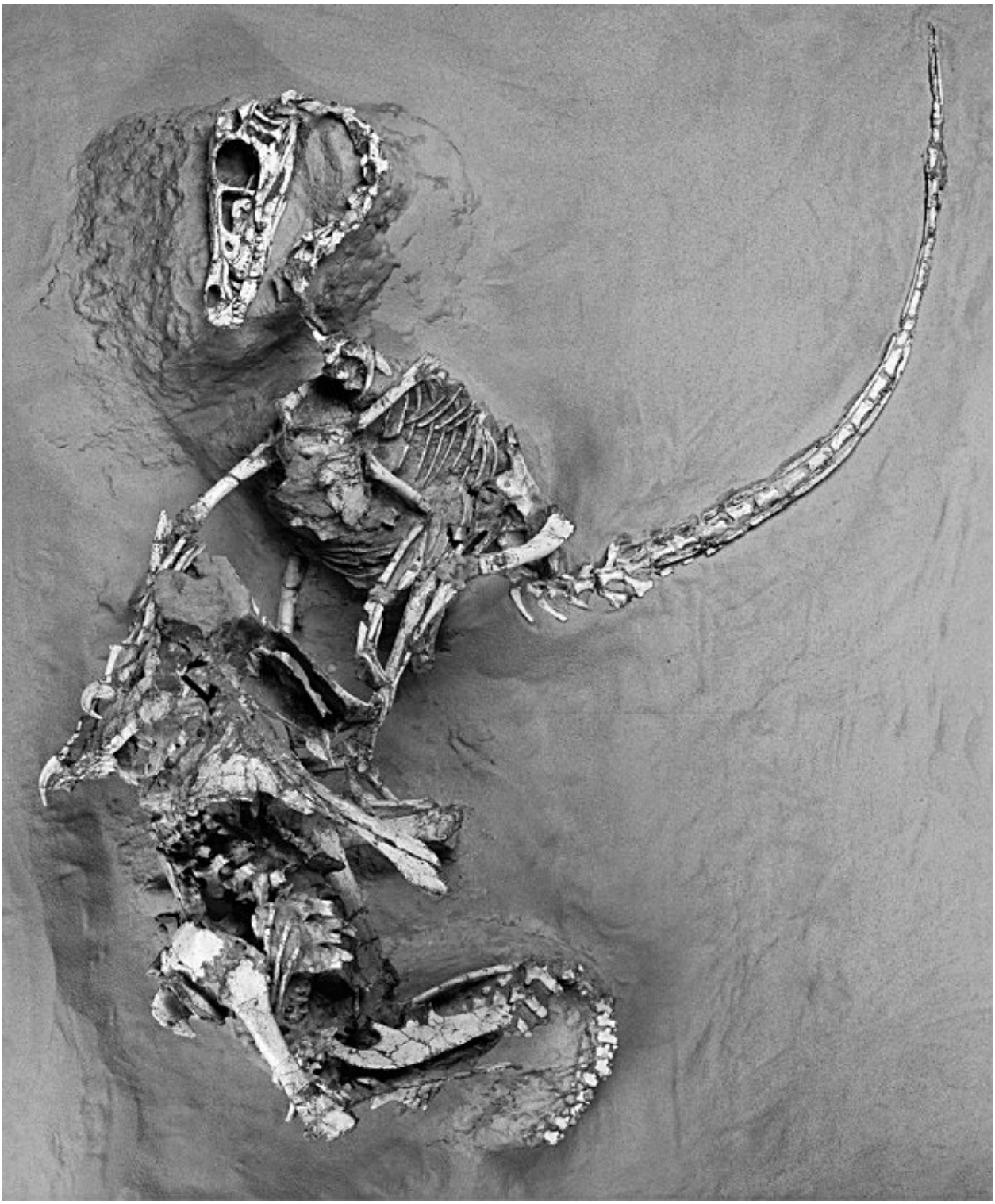
Todo esto cambió en 1969, el tumultuoso año de Woodstock. La revolución estaba en marcha, pues las normas y tradiciones sociales se cuestionaban en todo Occidente. Este espíritu de rebelión también impregnó la ciencia, y los paleontólogos empezaron a considerar los dinosaurios de manera diferente. No como esos desperdicios de espacio atontados, de colores apagados y andares lentos que habían definido una época baldía de la prehistoria, sino como unos animales más activos, dinámicos y enérgicos que habían dominado el mundo con talento e ingenio, muy parecidos en muchos

aspectos a los animales vivos… en particular a las aves. Una nueva generación —dirigida por un modesto profesor de Yale llamado John Ostrom y su revoltoso discípulo Robert Bakker— volvió a concebir desde cero a los dinosaurios, e incluso propuso las distintas ideas de que los dinosaurios vivían juntos en manada, de que tenían sentidos agudos, de que cuidaban de sus crías y de que pudieron haber tenido la sangre caliente como nosotros.

El esqueleto cubierto de plumas de *Archaeopteryx*, el ave más antigua del registro fósil.

El catalizador para este supuesto Renacimiento de los Dinosaurios fue una serie de fósiles desenterrados unos años antes, a mediados de la década de los sesenta, por Ostrom y su equipo. Se hallaban en el campo, en el lejano sur de

Montana, cerca de la frontera con Wyoming, prospectando en un terreno de rocas de colores vivos formadas en una llanura de inundación durante el Cretácico temprano, en algún momento de hace entre 125 y 100 millones de años. Encontraron más de mil huesos de un dinosaurio… que era asombrosamente parecido a un ave. Tenía largos brazos que casi parecían alas, y la complexión grácil era indicativa de un animal activo, de carrera rápida. Al cabo de unos años de estudiar los huesos, Ostrom anunció en 1969 que se trataba de una nueva especie, *Deinonychus*, un raptor. Era un primo cercano de *Velociraptor*, que se había descubierto en la década de los veinte en Mongolia y fue descrito por Henry Fairfield Osborn —el aristócrata neoyorquino que dio nombre a *T. rex*—, pero en esta época anterior a *Jurassic Park* todavía no se había convertido en un nombre conocido.



El dromeosaurio *Velociraptor* trabado en combate con el dinosaurio cornudo primitivo *Protoceratops*, del desierto de Gobi, en Mongolia. *Fotografía de Mick Ellison, con asistencia de Denis Finnin.*

Ostrom se dio cuenta de las enormes implicaciones de su hallazgo. Utilizo *Deinonychus* para resucitar la idea de Huxley de que las aves habían evolucionado a partir de los dinosaurios, lo que argumentó en una serie de artículos científicos fundamentales en la década de los setenta, como un abogado que planteara su caso mediante la presentación meticulosa de pruebas incontrovertibles. Mientras tanto, Bakker, su antiguo y extravagante alumno, seguía un camino diferente. El hijo de los sesenta, tocado con un sombrero de vaquero y con largos cabellos a lo hippy, se hizo evangelista. Se dedicó a predicar la conexión entre dinosaurios y aves —y la nueva imagen de los dinosaurios como ejemplos de éxito evolutivo, de sangre caliente y cerebro de gran tamaño— al público, en un artículo que fue portada en *Scientific American* en 1975 y en un libro de gran éxito en la década de los ochenta, *The Dinosaur Heresies*. Sus estilos incompatibles provocaron una considerable fricción entre ellos, pero Ostrom y Bakker revolucionaron juntos la manera en que la gente consideraba los dinosaurios. A finales de la década de los ochenta, los estudiosos más serios de la paleontología habían adoptado su manera de pensar.

El reconocimiento de que las aves procedían de los dinosaurios planteaba una pregunta sugerente. Quizá, conjeturaban Ostrom y Bakker, algunas de las características más familiares de las aves modernas evolucionaron primero en los dinosaurios. Quizá los raptores como *Deinonychus* —tan aviar en la estructura ósea y en las proporciones corporales— tenían incluso ese componente que por antonomasia es propio de las aves, a saber, las plumas. Después de todo, puesto que las aves evolucionaron a partir de los dinosaurios y puesto que *Archaeopteryx*, medio dinosaurio y medio ave, se hallaba cubierto de plumas fosilizadas, estas tuvieron que haberse desarrollado en algún momento a lo largo del linaje evolutivo, quizá mucho

antes de que aquellas hicieran aparición en escena. Es más, si algunos dinosaurios hubieran tenido efectivamente plumas, se trataría de la bofetada definitiva para el grupúsculo de los carcamales que no aceptaban la conexión entre dinosaurios y aves.

Pero el problema es que Ostrom y Bakker no podían estar seguros de si los dinosaurios como *Deinonychus* tenían plumas. Todo lo que tenían era huesos. Los fragmentos blandos, como piel, músculos, tendones, órganos internos y, en última instancia, plumas, rara vez sobreviven a los estragos de la muerte, la descomposición y el enterramiento para fosilizarse. *Archaeopteryx*, que Ostrom y Bakker consideraban como el ave más antigua del registro fósil, era una feliz excepción, al haberse visto enterrada rápidamente en una laguna tranquila y haberse transformado inmediatamente en piedra. Quizá nunca podrían decidir una cosa o la otra. De modo que aguardaban, esperanzados, a que alguien, en algún lugar y de alguna manera, encontrara plumas en un dinosaurio.

Más tarde, en 1996, al final de su carrera, Ostrom asistió a la reunión anual de la Sociedad de Paleontología de los Vertebrados en Nueva York, donde los buscadores de fósiles de todo el mundo se congregan para presentar nuevos descubrimientos y discutir la investigación. Mientras paseaba por el Museo Americano, a Ostrom se le acercó Phil Currie, un canadiense que formaba parte de la generación posterior a la década de los sesenta, que había crecido con la concepción de que las aves son dinosaurios. La idea fascinaba tanto a Currie que pasó gran parte de las décadas de los ochenta y los noventa a la caza de pequeños raptores parecidos a aves en el oeste de Canadá, Mongolia y China. De hecho, acababa de regresar de China, donde le había llegado noticia de un fósil extraordinario. Se sacó una fotografía del bolsillo y se la enseñó a Ostrom.

Allí estaba, un pequeño dinosaurio rodeado de un halo de pelusa plumosa,

conservado de forma inmaculada, como si hubiera muerto ayer. Ostrom empezó a llorar. Le fallaron las rodillas y casi cayó al suelo. Alguien había encontrado un dinosaurio emplumado.

El fósil que Currie mostró a Ostrom, y que posteriormente recibiría el nombre de *Sinosauropteryx*, fue solo el inicio. Los científicos acudieron a la región de Liaoning, en el nordeste de China, donde se había encontrado, con la loca ambición de los prospectores de la época de la fiebre del oro. Pero las auténticas autoridades eran los agricultores locales. Conocían muy bien el terreno y entendían que bastaba con vender a un museo un solo espécimen de calidad para obtener más dinero que en toda una vida de duro trabajo en los campos. En cuestión de pocos años, granjeros de todas partes habían informado de otras tantas especies de dinosaurios con plumas, las cuales recibieron nombres como *Caudipteryx*, *Protarchaeopteryx*, *Beipiaosaurus* o *Microraptor*. En la actualidad, unas dos décadas más tarde, se conocen más de veinte de estas especies, representadas por miles de ejemplares fósiles. Estos dinosaurios tuvieron la gran desgracia de vivir en un bosque denso que rodeaba un mundo maravilloso de lagos antiguos, un paisaje arrasado periódicamente por volcanes. Algunas de esas erupciones arrojaron tsunamis de cenizas que, combinadas con el agua, inundaron el paisaje con un barro viscoso que enterraba todo lo que encontraba a su paso. Los dinosaurios quedaron sepultados mientras se dedicaban a sus actividades cotidianas, y se conservaron cual Pompeya. Esta es la razón por la que los detalles de las plumas son tan prístinos.

Ostrom fue como esa persona que espera durante horas a que aparezca un autobús y a la que de repente le llegan cinco de golpe. Ahora contaba con todo un ecosistema de dinosaurios emplumados, que demostraban que estaba en lo cierto: las aves surgieron realmente de los dinosaurios y eran una extensión de la misma familia que *Tyrannosaurus rex* y *Velociraptor*. Los

dinosaurios emplumados de Liaoning se cuentan ahora entre los fósiles más conocidos de todo el mundo, y esto es así por derecho propio. En lo que respecta a nuevos descubrimientos de dinosaurios, nada que haya ocurrido a lo largo de mi propia vida se acerca en importancia.

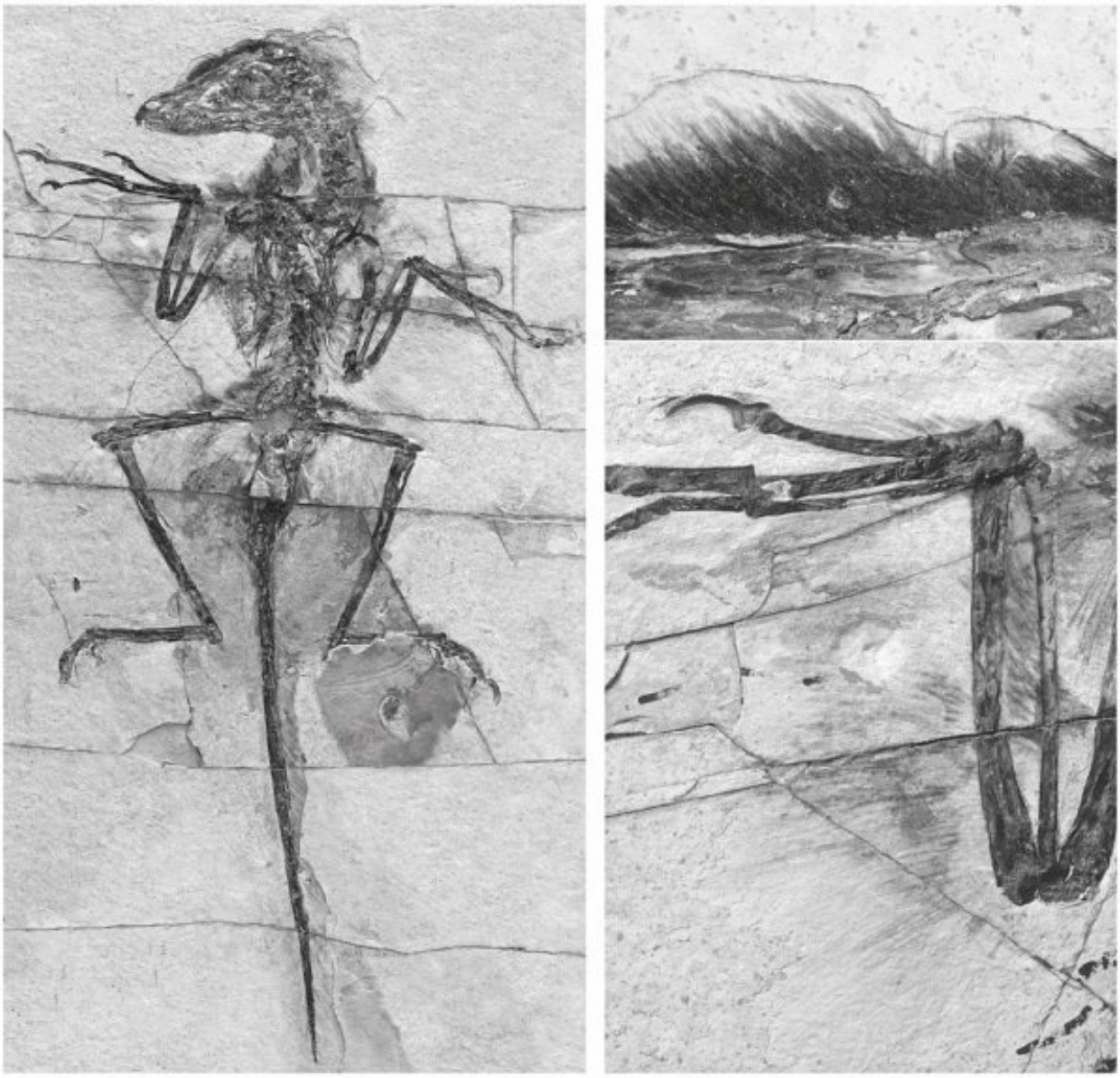
Uno de los mayores privilegios que he tenido en mi carrera ha sido estudiar muchos de los dinosaurios emplumados de Liaoning en museos de toda China. He tenido incluso la oportunidad de dar nombre y describir uno, el raptor *Zhenyuanlong*, que ya hemos conocido en las primeras páginas del libro, del tamaño de una mula y con alas. Los dinosaurios de Liaoning son unos fósiles magníficos, tan adecuados para un museo de historia natural como para una galería de arte, pero son mucho más que eso.

Son los fósiles que nos ayudan a desentrañar uno de los mayores enigmas de la biología, a saber, el modo en que la evolución da lugar a grupos de organismos radicalmente nuevos, con un cuerpo remodelado, capaz de realizar operaciones notablemente novedosas. La formación de aves voladoras de pequeño tamaño, de crecimiento rápido y de sangre caliente, a partir de ancestros parecidos a *T. rex* y *Allosaurus*, es un ejemplo fundamental de este tipo de salto, lo que los biólogos denominan una «transición evolutiva de primer orden».

Para estudiar las transiciones de primer orden hacen falta fósiles, porque no se trata de algo que se pueda reproducir en el laboratorio o contemplar en la naturaleza. Los dinosaurios de Liaoning constituyen un supuesto práctico casi perfecto. Hay muchos ejemplares, cuyas plumas muestran una gran diversidad de tamaños, formas y estructuras. Recorren toda una gama, desde ceratópsidos herbívoros del tamaño de un perro con unas púas simples del tipo de las de los puercoespines, pasando por unos primos primitivos de *T.*

rex, de nueve metros de largo y revestidos de un vello parecido a pelo —como *Yutyrannus*, al que también hemos conocido unos capítulos atrás—, o por raptores como *Zhenyuanlong*, con alas completas, hasta bichos raros del tamaño de cuervos, con alas tanto en los brazos como en las patas, algo que no se encuentra en ninguna de las aves modernas. Cada uno de estos fósiles es una instantánea y, cuando se reúnen y se disponen en un árbol genealógico, proporcionan algo así como una película de una transición evolutiva en acción.

De manera más fundamental, los fósiles de Liaoning confirman dónde se posan las aves en el árbol genealógico de los dinosaurios. Serían un tipo de terópodos, que surge de aquel grupo de feroces carnívoros que incluyen a los más famosos, como *T. rex* y *Velociraptor*, y también muchos de los demás depredadores con que nos hemos encontrado, como los *Coelophysis* de Ghost Ranch, que vivían en manadas, *Allosaurus*, el carnicero de la formación Morrison, o los carcarodontosaurios y abelisáuridos que aterrorizaron los continentes australes. Esto es exactamente lo que propusieron Huxley y, posteriormente, Ostrom. Los fósiles de Liaoning zanjaron la cuestión, al verificar la cuantía de las características que comparten de manera exclusiva las aves y los demás terópodos, las cuales no se reducen solo a las plumas, sino además a la espoleta, las manos de tres dedos que se pueden plegar sobre el cuerpo y otros cientos de detalles del esqueleto. No existe ningún otro grupo de animales, vivos o extintos, que compartan tales particularidades con aves o terópodos, lo que debe significar que las primeras proceden de los segundos. Cualquier otra conclusión requeriría de un enorme y muy especial esfuerzo.



Izquierda: El dromeosaurio (raptor) con plumas *Sinornithosaurus* de Liaoning, China. *Fotografía de Mick Ellison*. *Derecha*: Primeros planos de plumas sencillas parecidas a filamentos a lo largo de la cabeza (*arriba*) y plumas más largas, del tipo de cañón, a lo largo del antebrazo (*abajo*) de *Sinornithosaurus*. *Fotografía de Mick Ellison.*

Entre los terópodos, las aves se sitúan dentro de un grupo avanzado llamado «paraves». Estos carnívoros rompen algunos de los estereotipos que muchas personas tienen todavía sobre los dinosaurios, en particular sobre los terópodos, ya que no eran monstruos enormes como *T. rex*, sino especies más

pequeñas, más ágiles, más inteligentes, la mayoría de las cuales tenían el tamaño de un humano o incluso inferior. Efectivamente, fue un subgrupo de terópodos que siguió su propia senda, para cambiar la fuerza y la corpulencia de sus antepasados por un cerebro mayor, unos sentidos más agudos y unos esqueletos más compactos y livianos, los cuales permitían un estilo de vida más activo. Entre las paraves también se incluyen el *Deinonychus* de Ostrom, *Velociraptor* y mi tremendamente aviar *Zhenyuanlong*, junto con todas las demás especies de raptores dromeosáuridos y troodóntidos. Se trata de los parientes más próximos de las aves. Todos ellos tenían plumas, muchos poseían alas, y es seguro que varios de ellos tenían el aspecto de las aves modernas y actuaban como ellas.

En algún punto dentro de esta bandada de especies de paraves se encuentra la línea que separa las no aves de las aves. Al igual que la división entre no dinosaurios y dinosaurios, allá por el Triásico, esta distinción es confusa. Y se vuelve menos clara con cada nuevo fósil de Liaoning. A decir verdad, es solo cuestión de semántica, pues los paleontólogos actuales definen un ave como todo lo que cae dentro del grupo que incluye al *Archaeopteryx* de Huxley, a las aves modernas y a todos los descendientes de su antepasado jurásico común. Es más una convención histórica que un reflejo de cualquier distinción biológica. Según esta definición, *Deinonychus* y *Zhenyuanlong* caen, aunque por poco, en el lado no aviar de la frontera.

Olvidemos esto por un segundo. Las definiciones pueden distraernos de la trama.

Las aves actuales destacan de entre los animales modernos. Plumas, alas, picos sin dientes, espoleta, grandes cabezas que se balancean con la ayuda de cuellos en forma de ese, huesos huecos, patas como palillos… y la lista continúa. Estas características distintivas definen lo que llamamos el «plan corporal de las aves», el programa detallado que hace que un ave sea un ave,

y que se halla detrás de las muchas habilidades por las que se las conoce, como la capacidad de volar, las elevadísimas tasas de crecimiento, la fisiología de sangre caliente, una elevada inteligencia y sentidos aguzados. Queremos saber de dónde procede este plan corporal en particular.

Los dinosaurios emplumados de Liaoning nos dan la respuesta. Y es increíble: muchas de las características supuestamente distintivas de las aves actuales, los componentes de su programa detallado, aparecieron por primera vez a través de la evolución en sus ancestros dinosaurios. Lejos de ser privativas de las aves, se desarrollaron mucho antes, en terópodos que vivían sobre tierra firme, por razones que no estaban en absoluto relacionadas con el vuelo. Las plumas son el mejor ejemplo —y volveremos a ellas en un momento—, pero solo son emblemáticas de un patrón mucho mayor. Para verlo, hemos de empezar en la base de la familia y desplazarnos hacia arriba.

Empecemos con una característica fundamental del programa detallado de las aves. Las patas largas y rectas con unos pies con tres delgados dedos primarios —rasgos distintivos de la silueta de las aves modernas— aparecieron por primera vez hace más de 230 millones de años en los dinosaurios más primitivos, cuando su cuerpo se remodeló para constituirse en el motor de unos andares erguidos y de unas rápidas carreras que podían sobrepasar en velocidad y en capacidad de caza a sus rivales. De hecho, dichos rasgos de las patas posteriores están entre las características definitorias de todos los dinosaurios, las mismas que les permitieron dominar el mundo durante tanto tiempo.

Algo más tarde, algunos de estos dinosaurios de andares erguidos, los primeros miembros de la dinastía de los terópodos, vieron fusionadas sus clavículas izquierda y derecha en una nueva estructura, la espoleta. Era un cambio aparentemente menor, que estabilizaba la cintura escapular y que probablemente permitió a estos depredadores sigilosos, del tamaño de un

perro, absorber mejor la fuerza de choque al agarrar a las presas. Mucho más tarde, con las aves, la espoleta serviría como muelle para almacenar la energía al batir las alas. Sin embargo, estos prototerópodos no podían haber sabido nunca que esto era lo que iba a ocurrir en última instancia, de la misma manera que el inventor de la hélice no tenía ni idea de que los hermanos Wright la montarían más tarde en un aeroplano.

Muchas decenas de millones de años más tarde, un subconjunto de estos terópodos de caminar erecto y espoleta en la caja torácica, a cuyos miembros se conoce como «manirraptores», desarrolló, por razones desconocidas, un cuello de curvatura elegante. Mi conjetura es que pudo haber tenido algo que ver con la búsqueda de presas. Mientras tanto, el tamaño de algunas de estas especies se reducía, probablemente debido a que un físico más contraído les daba entrada en nuevos nichos ecológicos, como árboles, arbustos, quizá incluso cuevas subterráneas o madrigueras inaccesibles para gigantes como *Brontosaurus* y *Stegosaurus*. Posteriormente, un subconjunto de estos terópodos pequeños, erguidos, con espoleta y un cuello balanceante empezó a doblar los brazos contra el cuerpo, probablemente para proteger las delicadas plumas de cañón que estaban apareciendo por evolución en esa misma época. Se trataba de las paraves, un subgrupo de los manirraptores, constituido por los ancestros inmediatos de las aves.

Son solo algunos ejemplos; hay muchos más. La cuestión es que, al observar aquella gaviota al otro lado de la ventana, muchas de las características que me permiten reconocerla de inmediato como un ave no son realmente distintivas de las aves, sino que son atributos de los dinosaurios.

Este patrón tampoco se reduce a la anatomía. Muchos de los comportamientos y de las características biológicas más notables de las aves actuales tienen asimismo una profunda herencia dinosáurida. Algunas de las

pruebas más evidentes no proceden de Liaoning, sino de otra mina de fósiles espectaculares que se encuentra en el desierto de Gobi, en Mongolia. Durante el último cuarto de siglo, un equipo conjunto del Museo Americano de Historia Natural y de la Academia de Ciencias de Mongolia ha estado organizando todos los años expediciones estivales a esta extensión desolada de Asia Oriental. Los fósiles que han recuperado, que datan del Cretácico tardío, de hace aproximadamente entre 84 y 66 millones de años, nos proporcionan unos conocimientos sin precedentes del estilo de vida de los dinosaurios y de las primeras aves.

Mark Norell emplea uno de sus trucos distintivos para recuperar fósiles en condiciones de humedad, que consiste en empapar de gasolina la camisa de yeso que cubre el fósil y prenderle fuego. *Aino Tuomola*.

El proyecto del Gobi lo dirige uno de los más prominentes paleontólogos de Estados Unidos, Mark Norell, el director de la colección de dinosaurios del Museo Americano y antiguo director de mi tesis doctoral. Mark creció en el sur de California, es un surfista de largos cabellos que de pequeño adoraba

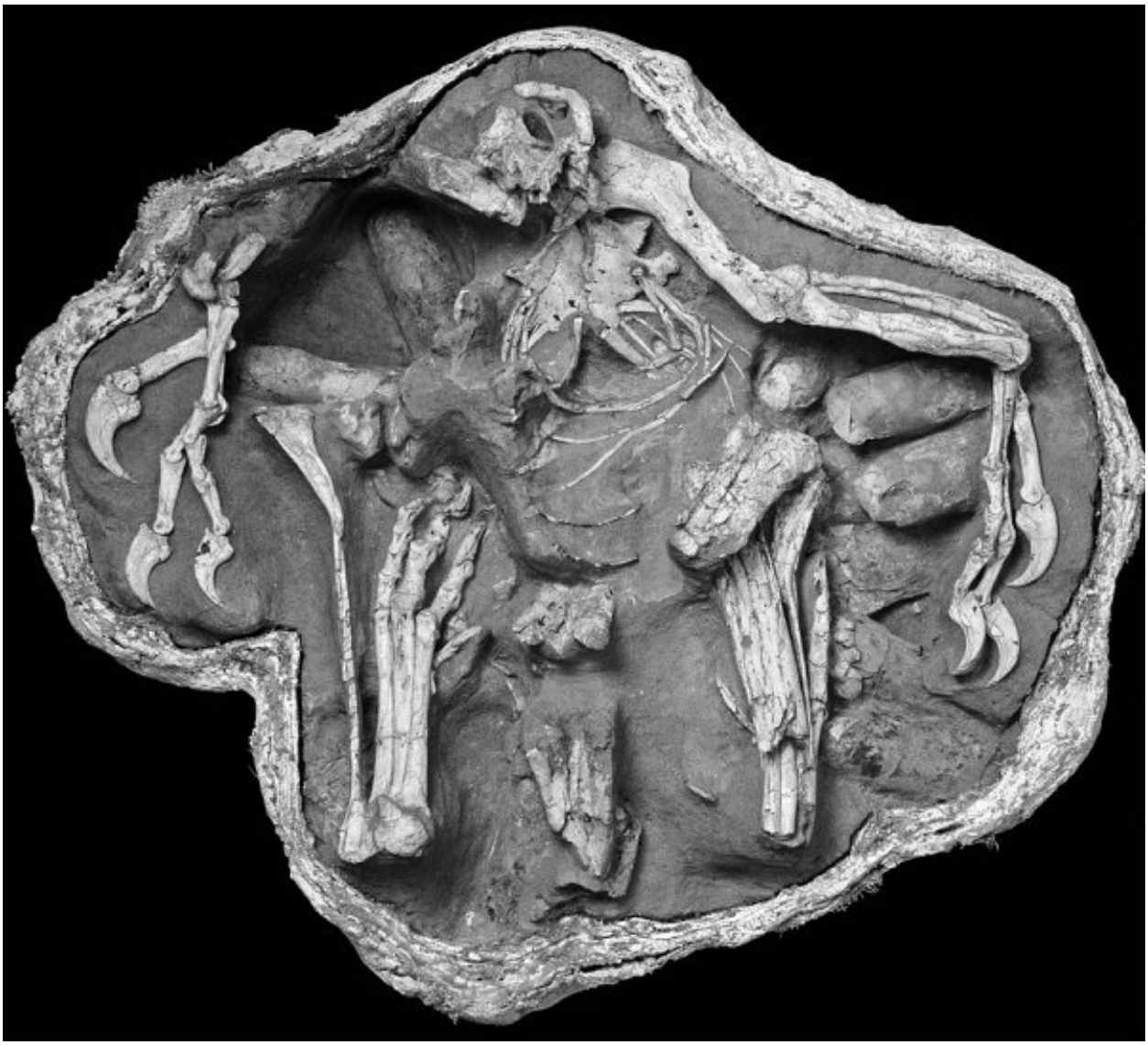
a Jimmy Page, pero que al mismo tiempo tenía una obsesión de empollón por recolectar fósiles. Se licenció en Yale, donde tuvo a Ostrom como uno de sus mentores, y apenas tenía treinta años de edad cuando lo contrataron para ocupar el antiguo cargo de conservador de Barnum Brown, considerado en general como el máximo puesto de investigación sobre dinosaurios del mundo.

Totalmente opuesto a la caricatura del académico estirado, Mark viaja por el planeta en busca de las dos cosas que mejor conoce: dinosaurios, como es obvio, y arte asiático, su otra pasión. Las historias que ha acumulado a lo largo del tiempo —que tienen como escenario casas de subastas, clubes de baile chinos, yurtas mongolas, lujosos hoteles europeos y bares de mala muerte— a veces parecen demasiado estrafalarias para ser ciertas, pero hacen de Mark uno de los mejores anecdotistas que he conocido. Hace unos años, *The Wall Street Journal* publicó una hagiografía en la que se referían a él como «la persona viva más *cool*». Mark se viste como una versión hípster de Andy Warhol, otro de sus héroes, recibe a la gente en un despacho majestuoso con vistas a Central Park, se jacta de una colección de arte budista antiguo que empequeñece a muchos museos y lleva frigoríficos al desierto con el fin de poder preparar sushi cuando está haciendo trabajo de campo. ¿Es esto suficiente para cumplir los requisitos del tío más guay del mundo? Dejaré que otros lo juzguen.

Lo que sí sé es que Mark es uno de los mejores directores de investigación del mundo. Es inteligente, capta rápidamente las cosas, piensa a lo grande y siempre anima a sus discípulos a hacer preguntas fundamentales acerca de cómo funciona la evolución; por ejemplo, ¿cómo se transformaron los dinosaurios en aves? En ningún caso pretende controlar en exceso ni robar méritos a otros; por el contrario, intenta atraer a estudiantes motivados, les suministra fósiles de primera y después los deja a lo suyo. Además, nunca

permite que los alumnos paguen las cervezas.

Muchos de los alumnos de Mark han forjado su carrera estudiando los fósiles de dinosaurios que ha extraído del Gobi, también yo. Entre ellos se cuentan esqueletos enterrados por crecidas que cogieron desprevenidos a progenitores que incubaban los huevos en los nidos, al igual que hacen las aves que conocemos en la actualidad. Demuestran que estas heredaron sus magníficas habilidades de crianza de sus antecesores, y que estos comportamientos se remontan al menos a algunas de las especies de manirraptores de pequeño tamaño, con alas y cuello arqueado. Los equipos de Mark han descubierto asimismo gran cantidad de cráneos de dinosaurios, entre ellos algunos bien conservados de *Velociraptor* y otros manirraptores. El TAC de estos especímenes —que había iniciado Amy Balanoff, antigua discípula de Mark a la que hemos conocido un par de capítulos atrás— ha revelado que estos dinosaurios tenían un cerebro enorme, con un cerebro anterior o prosencéfalo expandido en la parte frontal. Es el tamaño considerable de esta porción lo que hace que las aves modernas sean tan inteligentes, y además actúa como su ordenador de vuelo, lo que les permite controlar la complicada acción de volar y navegar el complejo mundo del aire. No sabemos con exactitud cómo los manirraptores desarrollaron esta inteligencia, pero los fósiles del desierto de Gobi nos dicen que los antepasados de las aves la adquirieron antes de emprender el vuelo.



Un ovirraptor que quedó enterrado mientas protegía su nido, recuperado por Mark Norell en Mongolia.

La lista continúa. Numerosos terópodos hallados en el Gobi y en otros lugares tenían huesos ahuecados por sacos aéreos, que, como ya sabemos, son la señal característica de que poseían un pulmón ultraeficiente de doble flujo, que se nutre de oxígeno tanto al inhalar como al exhalar, una característica valiosísima de las aves que les suministra la energía suficiente para mantener un modo de vida tan activo. La estructura microscópica de los huesos de los dinosaurios indica que muchas especies, incluidos todos los

terópodos conocidos, tenían tasas de crecimiento y fisiología intermedias entre los reptiles, de sangre fría y de maduración lenta, y las aves actuales, de sangre caliente y crecimiento rápido. Así, ahora sabemos que el pulmón de doble flujo y el crecimiento relativamente rápido surgieron más de cien millones de años antes de que las aves volaran, cuando aquellos primeros dinosaurios patilargos y veloces se estaban forjando un nuevo *modus vivendi* como animales de puro nervio, tan diferentes de los indolentes anfibios, lagartos y cocodrilos con los que lidiaban. Sabemos incluso que tanto la postura típica de dormir de las aves, como la manera en que extraen el calcio de los propios huesos para la cáscara de los huevos aparecieron primero en los dinosaurios, mucho antes que en las aves.

Por lo tanto, lo que tenemos por el plan corporal de las aves no era tanto un esquema fijo, como un conjunto de Lego que fue ensamblado, pieza a pieza, a lo largo del tiempo evolutivo. Cabe decir lo mismo del repertorio clásico de comportamiento, fisiología y biología de las aves actuales. Y cabe decir lo mismo de las plumas.

Siempre que voy a China, saco tiempo para ver a Xu Xing. Es un hombre educado, apacible, que creció pobre en Xinjiang, una región políticamente conflictiva de China occidental por la que antaño pasaba la Ruta de la Seda. A diferencia de la mayoría de los niños de Occidente, Xu no tenía ningún interés por los dinosaurios cuando era pequeño. Ni siquiera sabía que existían. Cuando obtuvo una prestigiosa beca para ir a la universidad en Beijing, el Gobierno le dijo que iba a estudiar paleontología, un tema del que nunca había oído hablar. Xu obedeció y resultó gustarle de verdad; después fue a profundizar sus conocimientos a Nueva York, a cargo de Mark Norell. Hoy en día, Xu es el mayor buscador de dinosaurios del mundo. Ha dado

nombre a más de cincuenta especies nuevas, más que nadie que viva en la actualidad.

En comparación con la suite presidencial de Mark en la torrecilla del Museo Americano de Historia Natural, el despacho de Xu en el Instituto de Paleontología de los Vertebrados y Paleoantropología en Beijing es espartano. Pero tiene en él algunos de los fósiles más asombrosos que se puedan ver. Además de los dinosaurios que encuentra el propio Xu, se le envían de forma rutinaria huesos encontrados por granjeros, obreros de la construcción y otra variedad de personas de todas las partes de China. Muchos son nuevos dinosaurios cubiertos de plumas del yacimiento de Liaoning. Cada vez que lo visito y me acerco resueltamente a su puerta, siento la adrenalina de un niño que corretea por una tienda de juguetes.

Los fósiles que he visto en el despacho de Xu cuentan la historia de cómo evolucionaron las plumas. Más que ninguna otra parte del cuerpo o de la biología de un ave, se trata de un elemento fundamental para entender de dónde proceden estas criaturas y otras muchas de sus capacidades únicas, como el vuelo. Las plumas son la navaja suiza definitiva, unos utensilios de múltiple uso que pueden usarse para la exhibición, el aislamiento, la protección de huevos y pollos y, desde luego, el vuelo. De hecho, tienen tantos usos que ha sido difícil deducir con qué propósito evolucionaron en primer lugar y por qué se modificaron en alerones, pero los fósiles de Liaoning están empezando a proporcionar una respuesta.

Las plumas no aparecieron de golpe, en el momento en que las primeras aves entraron en escena, sino que evolucionaron en sus distantes antepasados dinosaurios. Incluso puede ser que el antepasado común de todos los dinosaurios fuera una especie emplumada. No lo sabemos con seguridad, porque no podemos estudiar directamente a dicho antepasado, sino que se trata de una inferencia basada en una observación, la de que muchísimos de

los dinosaurios de Liaoning de pequeño tamaño y bien conservados —los abundantes terópodos carnívoros como *Sinosauropteryx*, pero también herbívoros pequeños como *Psittacosaurus*— se encuentran revestidos de algún tipo de integumento. O bien distintos dinosaurios desarrollaron plumas por separado, lo que es improbable, o bien las heredaron de un antepasado lejano. Sin embargo, estas primeras plumas tenían un aspecto muy diferente de las plumas primarias de las aves modernas. El material que tapizaba el cuerpo de *Sinosauropteryx* y de la mayoría de los demás dinosaurios de Liaoning era más parecido a pelusa, miles de filamentos similares a pelos que los paleontólogos denominan «protoplumas». No podían volar en absoluto, pues sus plumas eran demasiado sencillas, y ni siquiera tenían alas. De modo que las primeras plumas debieron de aparecer por evolución con alguna otra finalidad, probablemente para mantener calientes a estos dinosaurios de pequeño tamaño, parecidos a chinchillas, o bien para camuflarse.

Para la mayoría de ellos —la inmensa mayoría de los que he estudiado en el despacho de Xu y en los museos chinos—, una capa de plumas, ya fuesen esponjosas o hirsutas, era suficiente. Sin embargo, en el subgrupo de los manirraptores, con espoleta y cuello de cisne, los mechones de pelo se hicieron más largos y después empezaron a ramificarse, primero en la forma de unos pocos penachos simples y posteriormente en un sistema mucho más ordenado de cerdas que se proyectaban a los lados desde un eje central. Así pues, el raquis había nacido —o, en la jerga científica, la pluma pennácea—. Alineadas y dispuestas en capas, unas sobre otras, en los brazos, estas plumas más complejas formaron las alas, las cuales presentaban en muchos terópodos, en particular en las paraves, formas y tamaños diversos. Algunos, como el dromeosáurido *Microraptor* —uno de los primeros dinosaurios con plumas que Xu bautizó y describió—, tenían incluso alas en brazos y patas, algo que no se conoce en las aves actuales.

Las alas, desde luego, son esenciales para el vuelo. Son los alerones que proporcionan la fuerza y el impulso ascensionales. Por esta razón, se asumió durante mucho tiempo que las alas tenían que haber evolucionado específicamente para volar, que en algunos manirraptores la primitiva dinopelusa se había transformado en una capa de plumas pennáceas porque convertían su cuerpo en un aeroplano. Se trata de una explicación intuitiva, pero es probable que sea falsa.

En 2008, un equipo de investigadores canadienses prospectaba las tierras yermas del sur de Alberta, un área rica en fósiles de tiranosaurios, ceratópsidos, picos de pato y otros de los últimos dinosaurios de Norteamérica, supervivientes del Cretácico tardío. Los dirigía otra científica educada y de carácter afable, Darla Zelenitsky, una de las expertas mundiales en los huevos y en la reproducción de los dinosaurios. Su equipo había encontrado el esqueleto de un ornitomimosaurio del tamaño de un caballo —un terópodo omnívoro con pico y el aspecto de un avestruz—, con el cuerpo rodeado de unas escasas venas oscuras, algunas de las cuales parecían continuar directamente hasta el hueso. Si estuvieran en Liaoning, dijo Darla a su equipo con una risa sarcástica, podrían llamar plumas a esas cosas y anunciar el hallazgo como el mayor descubrimiento de su carrera. Pero el caso es que no podían ser plumas. Este ornitomimosaurio estaba enterrado en una arenisca vertida por un río, no enterrado rápidamente en una condición impecable por unas erupciones volcánicas del estilo de las de Liaoning. Además, nunca antes se había informado de dinosaurios emplumados de Norteamérica.

La broma siguió su curso un año después, cuando Darla y su equipo —en el que también estaba su marido, François Therrien, un experto en la ecología de los dinosaurios— encontraron un fósil casi idéntico. Otro ornitomimosaurio, en arenisca, con una sarna de vello como de algodón de

azúcar a su alrededor. Algo extraño estaba ocurriendo, de manera que la pareja fue al almacén del Museo Real de Paleontología Tyrrel, donde François trabaja como conservador, para examinar otros ornitomimosaurios de la colección. Allí encontraron un tercer esqueleto peludo, que había sido descubierto en 1995, un año antes de que Phil Currie tomara aquella fotografía del primer terópodo emplumado de Liaoning y se la mostrara a John Ostrom. Los paleontólogos que habían excavado el fósil de Alberta a mediados de la década de los noventa no sabían todavía que las plumas de dinosaurios podían conservarse, pero Darla y François estaban en condiciones de afirmar que los penachos de los tres ornitomimosaurios eran casi idénticos en tamaño, forma, estructura y posición a las plumas de muchos de los terópodos de Liaoning. Esto solo podía significar una cosa: que habían encontrado los primeros dinosaurios emplumados de Norteamérica.

Darla Zelenitsky recupera dinosaurios en Mongolia.

Los ornitomimosaurios que Darla y François habían descubierto no solo tenían plumas. También tenían alas. Se pueden ver las manchas oscuras en los huesos de los brazos en los que irían ancladas unas grandes plumas con raquis, una serie ordenada de puntos y rayas dispuestos en líneas que iban de arriba abajo del antebrazo. Pero no es posible que este dinosaurio pudiera volar, ya que era demasiado grande y pesado, con unos brazos demasiado

cortos y unas alas demasiado pequeñas para proporcionar una superficie lo bastante grande para sostener al animal en el aire. Además, no poseía los enormes músculos pectorales necesarios para insuflar de energía el vuelo —los músculos de la pechuga de las aves actuales, cuyo gran tamaño las convierte en una buena comida— ni las plumas asimétricas —con unas barbas anteriores más cortas y tiesas que las barbas posteriores—necesarias para soportar las intensas fuerzas al desplazarse por una corriente de aire. Lo mismo ocurre con muchos de los terópodos alados de Liaoning, entre ellos *Zhenyuanlong*. Tenían alas, desde luego, pero su cuerpo pesado, sus alas patéticamente pequeñas y su complexión enclenque los hacía completamente inadaptados para volar.

Pero ¿para qué otra cosa desarrollaría alas un dinosaurio? Puede parecer un misterio, pero hemos de recordar que las aves actuales emplean las alas para otras muchas cosas además de volar, razón por la que, por ejemplo, las aves ápteras como los avestruces no pierden totalmente los brazos. También se usan como estructuras de exhibición para animar a las parejas y asustar a los rivales, como estabilizadores para ayudarse a trepar, como aletas para nadar o como mantas para mantener los huevos calientes en el nido, además de otras muchas funciones. Las alas pudieron haber evolucionado por cualquiera de estas razones, o puede que para otro empleo que no tenga nada que ver, pero la exhibición parece la más probable, y hay cada vez más pruebas de ello.

Cuando yo hacía el doctorado con Mark Norell en Nueva York, había otro estudiante que hacía la carrera a un par de horas al norte, en Yale, en el mismo departamento en el que Ostrom había enseñado hasta su muerte en 2005. Jakob Vinther es originario de Dinamarca y tiene un físico vikingo que da fe de ello; es alto, con cabello rubio, una gran barba poblada y unos ojos nórdicos intensos. Él nunca había tenido la intención de estudiar dinosaurios; le gusta el periodo Cámbrico, esa época unos cientos de millones de años

antes de los dinosaurios, cuando la vida en los océanos experimentaba su gran explosión. Mientras estudiaba a los animales de ese periodo, empezó a preguntarse cómo se conservan los fósiles a escala microscópica. Comenzó a observar gran cantidad de ejemplares diferentes bajo microscopios de gran resolución, y se dio cuenta de que muchos conservaban una variedad de pequeñas estructuras parecidas a burbujas. La comparación con tejidos de animales modernos demostró que se trataba de melanosomas, unos receptáculos con pigmentos. Puesto que los melanosomas de tamaño y forma diferente corresponden a colores diferentes —los que tienen forma de salchicha forman el color negro; los que tienen forma de albóndiga, un rojo herrumbroso, etc.—, Jakob dedujo que, al examinar los melanosomas fosilizados, se podría decir qué colores habrían tenido los animales prehistóricos cuando estaban vivos. Siempre se nos había dicho que era algo imposible, pero él demostró que los expertos se equivocaban. En mi opinión, es una de las cosas más inteligentes que un paleontólogo ha hecho a lo largo de mi tiempo de vida.

Como es natural, quiso echar un vistazo a los dinosaurios emplumados que se acababan de descubrir. Esperaba que, si las plumas se habían conservado bastante bien, podrían contener melanosomas. Jakob y sus colegas de China pusieron los dinosaurios de Liaoning, uno tras otro, bajo el microscopio, y su intuición resultó correcta. Encontraron melanosomas en todas partes —de todas las formas y tamaños, orientaciones y distribuciones—, lo que revela que las plumas de los dinosaurios alados no voladores constituían todo un arcoíris. Algunas incluso eran iridiscentes, como la lustrosa cobertura de los cuervos. Unas alas coloreadas así habrían sido instrumentos perfectos de exhibición, exactamente igual que las fabulosas colas de los pavos reales. Aunque esto no prueba de manera definitiva que los dinosaurios usaran las alas para exhibirse, resulta una sólida prueba circunstancial.

El conjunto de las pruebas —que las alas aparecieron por evolución por primera vez en dinosaurios demasiado grandes y torpes para volar, que lucían una variedad de colores, que las aves modernas emplean las alas para exhibirse— ha conducido a una hipótesis nueva y radical, la de que las alas evolucionaron originalmente como estructuras de exhibición, como carteles de advertencia que salían de los brazos y, en algunos casos, como el de *Microraptor*, de las piernas e incluso de la cola. Entonces, estos dinosaurios de elegante plumaje se habrían encontrado con amplias superficies que, debido a las leyes inquebrantables de la física, podían producir una fuerza, una resistencia y un impulso de carácter ascensional. Los primeros dinosaurios alados, como los ornitomimosaurios, del tamaño de un caballo, e incluso la mayoría de los raptores como *Zhenyuanlong*, probablemente habrían considerado que la fuerza ascensional y la resistencia que producían sus paneles eran poca cosa más que una molestia. En cualquier caso, fuese cual fuese la magnitud, no era suficiente para que unos animales de ese tamaño se elevaran en el aire. Pero en paraves más avanzadas, con la combinación mágica de unas alas mayores y un tamaño corporal menor, los paneles de advertencia habrían podido adoptar una función aerodinámica. Ahora, estos dinosaurios podían moverse por el aire, aunque al principio fuera de forma torpe. Había aparecido el vuelo por evolución, y había ocurrido totalmente por accidente, al reconvertirse dichos paneles en alerones.

Cuántos más fósiles encontramos, en particular en Liaoning, más complejo se vuelve el relato. El desarrollo inicial del vuelo parece haber sido caótico. No hubo una progresión ordenada, ni una larga marcha evolutiva en la que un subgrupo de dinosaurios se refinase en unos aeronautas cada vez mejores. En lugar de ello, la evolución había producido un tipo general de dinosaurio —pequeño, emplumado, alado, de crecimiento rápido, de respiración eficiente

— que tenía todos los atributos necesarios para empezar a juguetear por el aire. Parece que hubo una zona en el árbol genealógico de los dinosaurios en la que este tipo de animales tuvieron el reino libre para experimentar. Es probable que el vuelo evolucionara varias veces en paralelo, pues diferentes especies de estos dinosaurios —con sus diferentes disposiciones de alerones y plumas— se encontraron generando fuerza ascensional con las alas al saltar desde el suelo, al subir con precipitación a los árboles o al saltar entre ramas.

Algunos eran planeadores, capaces de remontar pasivamente en las corrientes de aire. Es indudable que *Microraptor* podía planear, pues sus brazos y patas eran lo bastante grandes para sostener su cuerpo en el aire. No se trata de una simple conjetura, sino que se ha demostrado mediante experimentos en los que los científicos han construido modelos a tamaño real, anatómicamente correctos, y los han introducido en túneles de viento. Los modelos no solo permanecen a flote diligentemente, sino que planean con mucha soltura y sin esfuerzo en el flujo de aire. Existe otro tipo de dinosaurio que probablemente podía planear, pero de manera muy diferente a como lo hacía *Microraptor*. El diminuto *Yi qi*, quizá el dinosaurio más extravagante que se haya encontrado nunca, tenía alas, pero no estaban hechas de plumas. Poseía, en cambio, una membrana de piel que se extendía entre los dedos y el cuerpo, como un murciélago. Debió de ser una estructura de vuelo, pero no lo bastante flexible para batir de forma activa, de modo que planear era realmente la única posibilidad. El hecho de que la configuración de las alas de *Microraptor* y de *Yi* sean tan divergentes es de las pruebas más consistentes de que diferentes dinosaurios desarrollaron por evolución, de manera independiente, estilos de vuelo distintos.

Otros dinosaurios emplumados habrían empezado a volar de una manera diferente, a saber, batiendo las alas. Este es el llamado «vuelo batido», porque el animal se sustenta y se impulsa de manera activa, al batir las alas.

Los modelos matemáticos sugieren que es plausible que algunos dinosaurios no aviares fueran batidores, entre ellos *Microraptor* y el troodóntido *Anchiornis*, pues ambos tenían alas lo bastante grandes y un cuerpo lo bastante liviano para que al batir las alas se pudieran impulsar por el aire, al menos en la teoría. Con toda probabilidad, los primeros intentos debieron de ser desmañados, pues estos dinosaurios no habrían tenido la fuerza muscular o el vigor para permanecer mucho tiempo en el aire, pero proporcionaron un punto de partida a la evolución. Ahora, con unos dinosaurios de cuerpo pequeño y alas grandes, dedicados a revolotear, la selección natural podía empezar a operar y a modificarlos para hacerlos mejores voladores.

Uno de estos linajes de batidores de alas —quizá los descendientes de *Microraptor* o *Anchiornis* o, por contra, uno que hubiera evolucionado de manera completamente separada— se hizo todavía más pequeño, desarrolló grandes músculos pectorales y brazos hiperalargados. Estos dinosaurios perdieron la cola y los dientes, así como uno de los ovarios en el caso de las hembras, y vieron sus huesos todavía más ahuecados, lo que redujo el peso. La respiración se volvió más eficiente, el crecimiento más rápido y el metabolismo más acelerado, de modo que pasaron a tener un sistema por completo de sangre caliente, con la capacidad de mantener la temperatura interna del cuerpo elevada y constante. Con cada mejora evolutiva se fueron convirtiendo en mejores voladores, algunos incluso capaces de permanecer en el aire durante horas seguidas; otros, de navegar a través de las capas superiores de la troposfera, con poco oxígeno, sobre el Himalaya, que entonces se estaba elevando.

Estos fueron los dinosaurios que se convirtieron en las aves actuales.

La evolución produjo aves a partir de dinosaurios. Y, como hemos visto, esto

ocurrió a paso lento, cuando un linaje de dinosaurios terópodos adquirió de forma escalonada los rasgos y los comportamientos característicos de las aves actuales, a lo largo de decenas de millones de años. *T. rex* no mutó sin más en una gallina, de un día para otro, sino que la transición fue tan gradual que dinosaurios y aves parecen mezclarse unos con otras en el árbol genealógico. *Velociraptor*, *Deinonychus* y *Zhenyuanlong* se hallan en el lado de «no aves» de la genealogía, pero si en la actualidad estuvieran aquí, seguramente los consideraríamos otro tipo de ave, no más extraño que un pavo o un avestruz. Tenían plumas, tenían alas, vigilaban sus nidos, cuidaban de sus crías y, ¡diablos!, algunos de ellos probablemente incluso podían volar un poco.

Durante las decenas de millones de años en que los rasgos característicos de las aves se desarrollaron por evolución en los dinosaurios, uno por uno, no había un plan establecido, no había un objetivo mayor, no había ninguna fuerza que guiara la evolución para hacer que estos dinosaurios estuvieran cada vez más adaptados a los cielos. La evolución opera solo en el momento, seleccionando de manera natural rasgos y comportamientos que hacen que un animal tenga éxito en un tiempo y un lugar concretos. El vuelo fue algo que simplemente ocurrió cuando llegó el instante apropiado. Incluso es posible que se diese un punto en el que fuera inevitable. Si la evolución fabrica un cazador pequeño, de brazos largos, de cerebro grande, con plumas para mantenerse caliente y alas para atraer a otros individuos, no hace falta mucho más para que este animal empiece a aletear en el aire. En estas circunstancias, a partir de un dinosaurio que revolotea con una torpe capacidad aérea y que lucha para sobrevivir en un mundo de dinosaurios que comen dinosaurios, la selección natural pudo intervenir y empezar a modelar a su progenie como voladores cada vez mejores. Con cada refinamiento adicional, se tendría algo que podría volar mejor, más lejos, más rápido, hasta que hubiera aparecido un ave de estilo moderno.

La culminación de esta larga tradición fue un punto de inflexión en la historia de la vida. Cuando la evolución hubo finalmente conseguido montar un pequeño dinosaurio alado y volador, se abrió un nuevo e importante potencial. Estas primeras aves empezaron a diversificarse como locas, probablemente porque realizaban una nueva actividad que les permitía invadir nuevos hábitats y vivir de forma diferente a sus predecesores. Podemos ver este cambio (relativamente) súbito en el registro fósil.

Como parte de mi proyecto para la tesis doctoral, uní fuerzas con dos calculines para evaluar cómo cambiaban las tasas de evolución a lo largo de la transición de dinosaurios a aves. Graeme Lloyd y Steve Wang son paleontólogos, pero no sé si alguno de ellos ha recogido nunca un fósil. Son estadísticos de primera clase, genios de las matemáticas a los que les encanta sentarse frente al ordenador durante horas para escribir código y realizar análisis.

Nos pusimos a trabajar en el diseño de un nuevo método para calcular el ritmo al que cambian las características de los esqueletos de los animales a lo largo del tiempo, y el modo en que dichas tasas se modifican en cada una de las ramas del árbol genealógico. Empezamos con la amplia y novedosa genealogía de las aves y sus primos terópodos más cercanos que Mark Norell y yo habíamos elaborado. Después creamos una base de datos enorme con los rasgos anatómicos que varían en estos animales; algunas especies, por ejemplo, tienen dientes, pero otras poseen pico. Al cartografiar la distribución de estas características sobre el árbol genealógico, pudimos ver dónde una condición cambiaba a otra, dónde los dientes daban paso a los picos, y así sucesivamente. Esto nos permitió contar cuántos cambios ocurrían en cada rama del árbol. También podíamos determinar cuánto tiempo representaba cada rama del árbol, al utilizar las edades de cada fósil. El cambio a lo largo del tiempo sería la tasa, así que a partir de ahí pudimos medir el ritmo de la

evolución para cada rama. Después, empleando los conocimientos estadísticos de Graeme y Steve, pudimos comprobar si en determinados intervalos de tiempo en la evolución de los dinosaurios a las aves o de determinados grupos del árbol genealógico se daban mayores tasas de cambio que en otros.

Los resultados fueron casi tan claros como todo lo que suele salir de un programa informático de estadística: la mayoría de los terópodos evolucionaron a tasas muy normales, pero después, una vez que hubo aparecido un ave capaz de emprender el vuelo, estas se aceleraban. Las primeras aves evolucionaron mucho más deprisa que sus antepasados y primos dinosaurios, y mantuvieron este ritmo durante muchas decenas de millones de años. Mientras tanto, otros estudios han demostrado que hubo una repentina reducción del tamaño del cuerpo y un máximo en las tasas de evolución de las extremidades, precisamente alrededor del mismo punto de la genealogía, a medida que estas aves se estaban haciendo rápidamente más pequeñas, con unos brazos más largos y unas alas mayores, para poder volar mejor. Aunque fueron necesarias decenas de millones de años de evolución para que apareciera un ave voladora a partir de un dinosaurio, las cosas pasaron a suceder muy deprisa, y las aves remontaron el vuelo.

A poca distancia del despacho de Xu Xing en Beijing hay otra sala, más brillante y no tan severa, pero con menos fósiles. Allí es donde trabaja Jingmai O’Connor, aunque solo parte del tiempo. La razón por la que no hay muchos fósiles es que Jingmai estudia las aves de Liaoning, las auténticas voladoras, que batían las alas sobre la cabeza de los dinosaurios emplumados, y la mayoría de ellas están aplastadas sobre losas de caliza, de modo que puede describirlas y medirlas a partir de fotografías ampliadas en la pantalla

del ordenador, lo que significa que puede trabajar con facilidad desde casa, en una vivienda en el interior de los últimos *hutongs* —barrios tradicionales de callejones estrechos con edificios de un solo piso pegados unos a otros— que quedan en Beijing. De hecho, Jingmai pasa gran parte del tiempo que no dedica a la ciencia en los *hutongs*, de juerga e incluso en ocasiones haciendo de DJ, en los clubes más en boga de la repentinamente de moda capital de China.

Jingmai se llama a sí misma *paleontologista*, lo que encaja con ella, dado el estilo *fashionista* del que suele hacer gala, con cosas como licra con estampado de leopardo, piercings y tatuajes, lo cual es muy habitual en el club, pero la caracteriza —en un buen sentido— entre la multitud de trajes a cuadros y barbas que domina en la academia. Nativa del sur de California, de ascendencia medio irlandesa y medio china, Jingmai es una bomba de energía; suelta comentarios ingeniosos y cáusticos en un momento, habla de manera elocuente sobre política al siguiente y, después, sigue con música o arte, o con su estilo personal y único de filosofía budista. ¡Ah, sí!, y también es la experta número uno de todo el mundo en aquellas primeras aves que rompieron las amarras con la tierra para volar por encima de sus antepasados dinosaurios.

Izquierda: *Yanornis*, una especie de ave verdadera, que podía volar batiendo sus grandes alas emplumadas, de Liaoning, China. *Derecha*: Jingmai O'Connor, la principal experta mundial en los fósiles de las aves más antiguas.

Muchas aves vivieron durante la Era de los Dinosaurios. Los primeros voladores en batir las alas debieron de originarse hace al menos 150 millones de años, porque esta es la edad de *Archaeopteryx*, el animal Frankenstein de Huxley, que sigue siendo, hasta donde sabemos, la más antigua de las auténticas aves, sin duda alguna capaz de realizar vuelos batidos, en el registro fósil. Lo más probable es que la evolución ya hubiera dado lugar a un ave auténtica, pequeña, alada, batiente, en algún momento de la parte central del periodo Jurásico, hace entre 170 y 160 millones de años. Esto significa que las aves coexistieron con sus predecesores dinosaurios durante nada más y nada menos que cien millones de años.

Se trata del tiempo suficiente para dar lugar a una diversidad considerable, en particular porque estas primeras aves evolucionaban a tasas muy rápidas en comparación con otros dinosaurios. Las aves de Liaoning que Jingmai estudia son una instantánea del aviario del Mesozoico, el mejor retrato de las

aves durante los primeros años de su historia evolutiva. Todas las semanas los intermediarios y conservadores de distintos museos envían a Jingmai y a sus colegas en Beijing fotografías de nuevas aves fósiles, recuperadas por agricultores en los campos ondulados del nordeste de China. A lo largo de las dos últimas décadas, se ha informado de miles de fósiles así, y son mucho más comunes que los dinosaurios emplumados como *Microraptor* y *Zhenyuanlong*. Ello se debe probablemente a que bandadas de aves primitivas perecieron asfixiadas por los gases tóxicos de las grandes erupciones volcánicas, y sus cuerpos flácidos cayeron después en los lagos y bosques que quedaron enterrados por el lodo de cenizas que también sepultó a los dinosaurios emplumados.

Semana tras semana, Jingmai abre el correo electrónico, descarga las fotografías y se encuentra observando un nuevo tipo de ave.

Hay un sinnúmero de especies; parece que Jingmai da nombre a una nueva cada mes o cada dos meses. Vivían en los árboles, en el suelo e incluso en el agua o cerca de ella, como los patos. Algunas aún tenían dientes y una larga cola, conservada de ancestros del tipo de *Velociraptor*, mientras que otras poseían el cuerpo diminuto, los grandes músculos pectorales, la cola en muñón y las alas majestuosas de las aves modernas. Mientras tanto, planeando y batiendo desmañadamente las alas junto con estas aves, estaban algunos de aquellos dinosaurios que experimentaban con el vuelo, como ese *Microraptor* de cuatro alas, las especies con alas como los murciélagos, etc.

Así es como, más o menos, ocurrían las cosas hace 66 millones de años, con todo este séquito de aves y de otros dinosaurios que se desplazaban por el aire, planeando y batiendo las alas por encima de *T. rex* y *Triceratops*, que se liaban a golpes en Norteamérica, mientras los carcarodontosaurios perseguían a los titanosaurios al sur del ecuador y los dinosaurios enanos saltaban de isla en isla en Europa. Todos estaban presentes cuando algo ocurrió a

continuación, el instante que borró de la faz de la tierra a casi todos los dinosaurios, y también a las aves, excepto a algunas de las más avanzadas, las mejor adaptadas, las que mejor volaban, que pudieron salir indemnes de la masacre y que todavía están con nosotros en la actualidad… entre ellas, las gaviotas que hay al otro lado de la ventana.

9

La EXTINCIÓN *de los* DINOSAURIOS

Edmontosaurus

Fue el peor día de la historia de nuestro planeta. Unas pocas horas de violencia inimaginable que desbarataron más de 150 millones de años de evolución y pusieron a la vida en un nuevo rumbo.

T. rex estaba allí para presenciarlo.

Cuando una manada de *rex* se despertó aquella mañana de hace 66 millones de años, en lo que acabaría siendo el último día del periodo Cretácico, todo parecía normal en el reino de Hell Creek, al igual que había ocurrido durante generaciones, durante millones de años.

Bosques de coníferas y ginkgos se extendían hasta el horizonte, entremezclados con las flores brillantes de palmeras y magnolias. El rumor distante de un río, que se apresuraba hacia el este para vaciarse en el gran canal marítimo que bañaba Norteamérica occidental, quedaba ahogado por el mugido bajo de una manada de *Triceratops* de varios miles de individuos.

Mientras la manada de *T. rex* se preparaba para la caza, la luz del sol empezaba a filtrarse a través del dosel arbóreo. Resaltaba el perfil de varias criaturas de pequeño tamaño que surcaban raudas el cielo, algunas batiendo sus alas emplumadas y otras planeando a favor de las corrientes de aire caliente que se elevaban desde la humedad del nuevo día. Sus trinos y gorjeos eran hermosos, una sinfonía matutina que el resto de los animales del bosque y de las llanuras de inundación podían oír; los anquilosaurios acorazados y los paquicefalosaurios de cabeza en domo que se escondían en los árboles, las legiones de picos de pato que apenas empezaban su desayuno de flores y hojas, los raptores que perseguían a mamíferos del tamaño de ratones y lagartos a través de la maleza.

Entonces todo comenzó adquirir un tono extraño, completamente ajeno a todas las normas de la historia de la Tierra.

Durante las últimas semanas, los *rex* más perceptivos quizá habrían advertido una esfera refulgente en el cielo, a gran distancia, una bola difusa de silueta llameante, como una versión más apagada y más pequeña del Sol. La esfera parecería hacerse mayor para después desaparecer de la vista durante grandes periodos del día. Los *rex* no hubiesen podido llegar a ninguna conclusión; estaba mucho más allá de su capacidad cognitiva contemplar los movimientos de los cielos.

Pero esa mañana, cuando la manada salió de entre los árboles y se situó en la orilla del río, todos pudieron ver que algo era diferente. La esfera estaba de nuevo allí y era gigantesca, su brillo iluminaba gran parte del cielo al sudeste en una neblina imprecisa y psicodélica.

Entonces, un destello. Sin ruido, solo un fulgor amarillo durante una fracción de segundo, que iluminó todo el cielo, dejando desorientados a los *rex* por un momento. Cuando volvieron a enfocar los ojos, advirtieron que había desaparecido, y que el cielo estaba de un color azul apagado. El macho alfa se giró para examinar al resto de la manada…

Y entonces otro destello los pilló por sorpresa, este mucho más vengativo. Los rayos iluminaron el aire matutino en una exhibición de fuegos artificiales y les quemaron las retinas. Uno de los machos jóvenes cayó, fracturándose las costillas. El resto quedaron inmovilizados, parpadeando alocadamente intentando librarse de las chispas y motas de polvo que les inundaban la vista. Todavía ningún sonido acompañaba a la furia visual. De hecho, no había ningún ruido en absoluto. Para entonces, las aves y los raptores voladores habían dejado de gorjear, y el silencio se cernía sobre Hell Creek.

La calma solo duró unos segundos. A continuación, el suelo bajo los pies empezó a retumbar, después a temblar, y después a fluir. Como si fueran olas.

Unos pulsos de energía atravesaban las rocas y el suelo, el terreno subía y bajaba, como si una serpiente gigantesca estuviera culebreando por debajo. Todo lo que no estaba arraigado en el suelo salió disparado hacia arriba; cayó, y de nuevo arriba y abajo: la superficie de la Tierra se había transformado en una cama elástica. Los dinosaurios pequeños, al igual que los mamíferos y lagartos diminutos, salieron catapultados hacia arriba, y después cayeron sobre árboles y rocas, se despanzurraron al llegar a tierra. Las víctimas danzaban por los aires como estrellas fugaces.

Incluso los mayores *rex* de la jauría, los más pesados, de doce metros de largo, salieron lanzados a varios metros del suelo. Durante unos minutos, rebotaron sobre este, impotentes, tratando de lidiar con la situación. Momentos antes, eran los déspotas indiscutibles de todo un continente; ahora habían pasado a ser poco más que unas bolas de billar de siete toneladas, cuyo cuerpo flácido era lanzado al aire y chocaba con los demás con fuerza más que suficiente para quebrar cráneos, partir cuellos y romper patas. Cuando el temblor terminó por fin y el suelo dejó de ser elástico, la mayoría de los *rex* estaban esparcidos a lo largo de la ribera, como bajas en un campo de batalla.

Muy pocos de los *rex* o de los otros dinosaurios de Hell Creek pudieron alejarse caminando del baño de sangre. Pero algunos lo hicieron. Mientras los afortunados supervivientes se fueron tambaleándose, evitando los cadáveres de sus compañeros, el cielo empezó a cambiar de color sobre sus cabezas. El azul se volvió anaranjado y, después, rojo pálido. El rojo se hizo más nítido y más oscuro, y luego cada vez más y más brillante, como si los faros de un coche gigantesco se estuvieran acercando cada vez más. Pronto todo estuvo bañado en un esplendor incandescente.

Entonces llegaron las lluvias, aunque lo que caía del cielo no era agua, sino cuentas de vidrio y pedazos de roca, tan calientes que quemaban. Unos

pedazos del tamaño de guisantes bombardearon a los dinosaurios supervivientes, causándoles quemaduras profundas en la carne. Muchos fueron acribillados y abatidos, y sus cadáveres destrozados se unieron a los de las víctimas del terremoto en el campo de batalla. Mientras tanto, a medida que las balas de roca vítrea caían zumbando desde lo alto, transferían calor al aire. La temperatura de la atmósfera fue subiendo hasta que la superficie de la Tierra se convirtió en un horno. Los bosques se incendiaron espontáneamente y los incendios forestales lo barrieron todo. Ahora los animales supervivientes se asaban, y su piel y sus huesos se cocían a temperaturas que producían quemaduras de tercer grado al instante.

No habían pasado más de quince minutos desde que la jauría de *T. rex* se sorprendió por la primera descarga luminosa, pero para entonces ya estaban todos muertos, como lo estaban la mayoría de los dinosaurios con los que habían convivido. Los bosques y los valles fluviales antaño frondosos estaban en llamas. Aun así, había animales que habían sobrevivido, como algunos mamíferos y lagartos que se hallaban bajo tierra o algunos cocodrilos y tortugas que estaban sumergidos bajo el agua, así como algunas aves que habían podido volar hasta refugios más seguros.

Durante la hora siguiente, aproximadamente, la lluvia de balas cesó y el aire se enfrió. Una bocanada de calma se acomodó en Hell Creek. Parecía que el peligro había pasado, y muchos de los supervivientes salieron de los lugares en los que se habían ocultado para inspeccionar el escenario. Había sido una carnicería y, aunque el cielo ya no era de color rojo radiactivo, se estaba volviendo más negro a medida que se llenaba del hollín de los incendios forestales, aún activos. Cuando un par de raptores olisquearon los cuerpos carbonizados de la jauría de *T. rex*, debieron de pensar que habían sobrevivido al apocalipsis.

Estaban equivocados. Aproximadamente dos horas y media después del

primer destello luminoso, las nubes empezaron a ulular. El hollín de la atmósfera empezó a arremolinarse en tornados. Y entonces (ssssssss) el viento arremetió a través de las llanuras y de los valles fluviales, alcanzando la fuerza de un huracán, lo bastante intenso para hacer que las orillas de ríos y lagos se desbordaran. Junto a esto llegaba un ruido ensordecedor, más fuerte que nada que aquellos dinosaurios hubieran oído nunca. Y después otro. El sonido se desplaza mucho más lentamente que la luz, y estas eran las explosiones sónicas que habían tenido lugar al mismo tiempo que los dos destellos luminosos, causados por el horror lejano que horas antes había iniciado la reacción en cadena de fuego y azufre. Los oídos de los raptores se rompieron y estos chillaron por el dolor, y muchas de las criaturas más pequeñas se volvieron rápidamente a la seguridad de sus madrigueras.

Mientras todo esto ocurría en el oeste de Norteamérica, otras partes del mundo padecían sus propios trastornos. Los terremotos, la lluvia de roca vítrea y los vientos huracanados fueron menos severos en Sudamérica, donde vagaban los carcarodontosaurios y los saurópodos gigantes. Lo mismo ocurría en las islas europeas que los extraños dinosaurios enanos de la actual Rumanía consideraban su hogar. Aun así, los dinosaurios todavía tenían que habérselas con los temblores del terreno, los incendios forestales y un calor intenso, y muchos de ellos murieron durante aquellas mismas dos horas de caos que arrasaron la mayor parte de la comunidad de Hell Creek. Pero también hubo lugares donde las cosas fueron mucho peores. Gran parte de las costas de la zona central del Atlántico fueron golpeadas por tsunamis el doble de altos que el Empire State, lo que arrastró los cadáveres de reptiles marinos gigantescos como los plesiosaurios y otros a gran distancia tierra adentro. Los volcanes empezaron a vomitar ríos de lava en India. Y una zona de América Central y del sur de Norteamérica, todo lo que había en un radio de unos mil kilómetros alrededor de la península de Yucatán y del México actual, quedó

aniquilado. Vaporizado.

Cuando la mañana dio paso a la tarde y después a la puesta de sol, los vientos fueron disminuyendo. La atmósfera continuó enfriándose y, aunque hubo algunas réplicas, el suelo era estable y sólido. Los incendios forestales ardían a lo lejos. Cuando por fin llegó la noche, y el día más horrible de todos pudo darse por terminado, muchos dinosaurios, quizá incluso la mayoría, habían muerto en todo el mundo.

Sin embargo, algunos consiguieron llegar mal que bien al día siguiente, a la semana siguiente, al mes siguiente, al año siguiente y a las décadas siguientes. No fue una época fácil. Durante varios años después de aquel día terrible, la Tierra se enfrió y se oscureció debido a que el hollín y el polvo de las rocas permanecían en la atmósfera y no dejaban pasar la luz del sol. La oscuridad trajo consigo el frío, un invierno nuclear al que solo los animales más resistentes pudieron sobrevivir. La oscuridad hizo también muy difícil que las plantas pudieran subsistir, pues necesitan la luz solar para realizar la fotosíntesis que constituye su alimento. Al morir las plantas, las cadenas tróficas se derrumbaron como un castillo de naipes, lo que causó la muerte de muchos de los animales que habían podido soportar el frío. Algo parecido ocurrió en los océanos, donde la muerte del plancton fotosintetizador se llevó tras sí al plancton mayor y a los peces que se alimentaban de aquel, y a su vez a los reptiles gigantes de la cumbre de la pirámide trófica.

Al final, el sol se abrió paso a través de la oscuridad, cuando el agua de lluvia limpió la atmósfera de hollín y de otras impurezas. Sin embargo, era una lluvia muy ácida, que escaldó gran parte de la superficie de la Tierra. Tampoco bastó para eliminar los aproximadamente diez billones de toneladas de dióxido de carbono lanzadas al cielo con el hollín. El dióxido de carbono es un desagradable gas de efecto invernadero que atrapa el calor en la atmósfera, así que el invierno nuclear pronto dio paso al calentamiento

global. Todo ello confluyó en una guerra de desgaste que eliminó a cualesquiera dinosaurios que no hubieran sucumbido ya por el cóctel inicial de terremotos, azufre e incendios.

Unos cuantos cientos de años después de aquel día aciago —unos pocos miles de años todo lo más—, el occidente de Norteamérica era un paisaje cicatrizado, postapocalíptico. Lo que antaño había sido un ecosistema diverso de extensos bosques, avivado por el pisoteo de las pezuñas de *Triceratops* y dominado por *T. rex*, se hallaba ahora tranquilo y vacío en su mayor parte. Aquí y allí, un inesperado lagarto se deslizaba entre los matorrales, algunos cocodrilos y tortugas chapoteaban en los ríos, y unos mamíferos del tamaño de ratas echaban una ojeada desde la entrada de sus madrigueras. Había todavía unas pocas aves, que picoteaban las semillas que aún había enterradas en el suelo, pero todos los demás dinosaurios habían desaparecido.

Hell Creek se había convertido en un infierno. Y lo mismo había ocurrido en gran parte del resto del mundo. Fue el fin de la Era de los Dinosaurios.

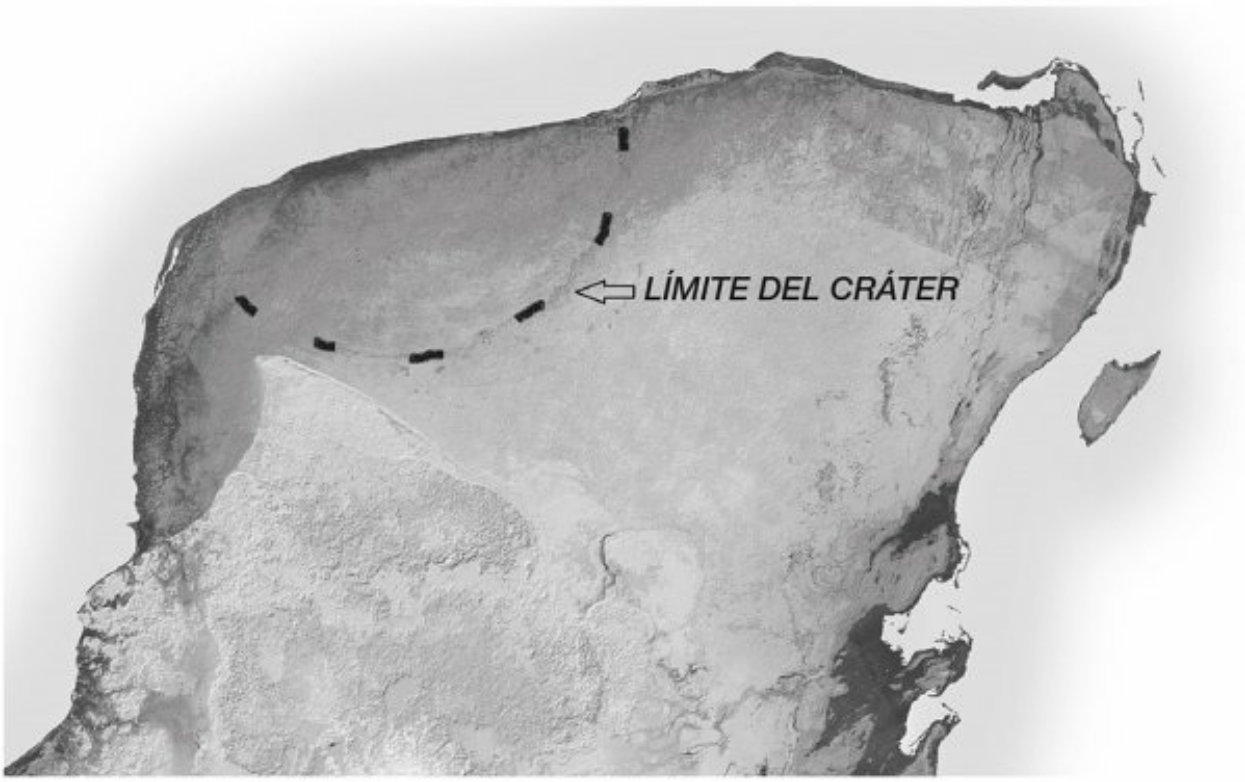
Lo que ocurrió aquel día —cuando el Cretácico terminó con una explosión y se firmó la pena de muerte de los dinosaurios— fue una catástrofe a una escala inimaginable que, afortunadamente, la humanidad no ha experimentado nunca. Un cometa o un asteroide —no sabemos con seguridad si uno u otro— chocó contra la Tierra, golpeando lo que en la actualidad es la península de Yucatán, en México. Tenía unos diez kilómetros de diámetro, aproximadamente el tamaño del Everest. Es probable que se desplazara a una velocidad de unos ciento ocho mil kilómetros por hora, cien veces más rápido que un avión de pasajeros a reacción. Cuando impactó contra el planeta, golpeó con la fuerza de más de cien billones de TNT, algo así como la energía de mil millones de bombas nucleares. Se hundió unos cuarenta

kilómetros dentro de la corteza terrestre y llegó hasta el manto, dejando un cráter de más de ciento sesenta kilómetros de diámetro.

El impacto dejó a una bomba atómica a la altura de un petardo de los que se tiran el Cuatro de Julio. Era una mala época para estar vivo.

Los dinosaurios de Hell Creek vivían a unos tres mil quinientos kilómetros al noroeste de la zona de impacto a vuelo de *Microraptor*. Con independencia de ciertas licencias artísticas, habrían experimentado más o menos la sarta de terrores arriba descritos. Sus primos de Nuevo México —versiones meridionales de *T. rex*, distintos tipos de dinosaurios cornudos y de pico de pato, y algunos de los pocos saurópodos que vivían en Norteamérica, cuyos huesos he recolectado durante muchos veranos de trabajo de campo— lo habrían pasado incluso peor. Se hallaban solo a unos dos mil cuatrocientos kilómetros del lugar del impacto. Cuanto más cerca, mayores habrían sido los horrores: los estallidos de luz y sonido habrían llegado más deprisa, los terremotos habrían sido más graves; la lluvia de vidrio y rocas, más intensa, y la temperatura del horno, mayor. Todos los animales a una distancia de unos mil kilómetros de Yucatán habrían pasado a ser fantasmas al instante.

La Tierra cuarenta y cinco segundos después del impacto del asteroide de Chicxulub. Una nube creciente de polvo y roca fundida se alza en la atmósfera y un golpe de calor provoca incendios y empieza a expandirse a través de los océanos y de la Tierra. *Material gráfico de Donald E. Davis, NASA.*



Mapa en relieve de la península de Yucatán en la actualidad, que muestra el contorno del cráter de Chicxulub (el resto del cráter se encuentra bajo el agua). *Cortesía de la NASA.*

La esfera resplandeciente en el cielo que habría captado el interés de la manada de *T. rex* era el propio cometa o asteroide. (De aquí en adelante, me referiré a él como «asteroide», por simplificar.) Si hubiéramos estado allí en aquel entonces, lo habríamos visto. Es probable que la experiencia hubiera sido parecida a los momentos en los que el cometa Halley se ha acercado a la Tierra. Flotando aparentemente en los cielos, el asteroide habría parecido inocuo. No le habríamos dado importancia, al menos al principio.

El primer destello de luz tuvo lugar cuando el asteroide penetró en la atmósfera de la Tierra y comprimió de forma violenta el aire a su paso, tanto que este se volvió cuatro o cinco veces más caliente que la superficie del Sol y se inflamó. El segundo destello fue el del propio impacto, cuando el asteroide chocó contra suelo firme. Los estampidos sónicos asociados con

ambos destellos vinieron muchas horas después, al desplazarse el sonido mucho más lentamente que la luz. Con ellos llegaron los vientos, que probablemente soplaron a más de mil kilómetros por hora cerca de Yucatán y todavía a varios cientos de kilómetros por hora cuando llegaron a Hell Creek. En comparación, la máxima velocidad del viento del huracán Katrina se midió en unos doscientos ochenta kilómetros por hora.

Cuando el asteroide y la Tierra chocaron, se liberó una enorme cantidad de energía, que produjo unas ondas de choque que hicieron que el suelo temblara como una cama elástica. Es probable que llegaran a diez en la escala de Richter, una potencia mayor que la de cualquier cosa con la que se hayan topado las civilizaciones humanas. Algunos de estos terremotos desencadenaron los tsunamis del Atlántico, que arrancaron peñascos del tamaño de edificios y los lanzaron a gran distancia hacia el interior del continente; otros hicieron que los volcanes del área de la actual India se aceleraran y estuvieran en erupción durante miles de años, agravando las consecuencias del asteroide.

La energía de la colisión vaporizó el asteroide y la roca madre contra la que este había colisionado. Polvo, tierra, roca y otros residuos del impacto salieron disparados hacia el cielo, la mayoría como vapor o como líquido, pero algunos como fragmentos de roca, pequeños pero todavía sólidos. Parte de este material voló, sobrepasó los límites exteriores de la atmósfera y pasó al espacio exterior. Pero lo que sube, mientras no alcance la velocidad de escape, tiene que caer y, en este caso, al hacerlo, la roca licuada se enfrió en burujos vítreos y lanzas en forma de lágrima, que transfirieron calor a la atmósfera y la transformaron en un horno.

Las temperaturas alcanzaron un máximo y prendieron los incendios forestales, quizá no en todo el mundo, pero sí en gran parte de Norteamérica y en cualquier otro lugar a unos pocos miles de kilómetros de Yucatán.

Vemos los restos chamuscados de hojas y madera —como la materia que queda cuando se ha extinguido una fogata de campamento— en rocas que se depositaron justo después del impacto del asteroide. El hollín de los incendios, junto con otras clases de polvo y de mugre levantadas por el impacto, demasiado liviano para volver a caer en tierra, se habría quedado flotando en la atmósfera, obturando las corrientes de aire que circulan por el globo, hasta que todo el planeta se hubo quedado a oscuras. Es probable que durante el periodo que siguió, el equivalente a un invierno nuclear global, la mayoría de los dinosaurios en áreas alejadas del ardiente cráter también desapareciesen.

Podría seguir y seguir, agotando mi tesauro, pero si voy mucho más allá es probable que el lector no me crea. Lo que sería una lástima, porque todo lo que he escrito ocurrió realmente. Y lo sabemos debido al trabajo de un hombre, un genio de la geología y uno de mis héroes científicos: Walter Álvarez.

Ya ha quedado claro que hice algunas tonterías cuando estaba en el instituto, época en que mi obsesión por los dinosaurios se puso por delante de mi buen juicio. El acoso a Paul Sereno como fan no fue en absoluto lo peor. Nada más desvergonzado que cuando cogí el teléfono un día de la primavera de 1999 y llamé por las buenas a Walter Álvarez a su despacho en Berkeley, en California. Yo era un muchacho de quince años con una colección de rocas; Álvarez era un eminente miembro de la Academia Nacional de Ciencias que cerca de veinte años antes había propuesto la idea de que el impacto de un asteroide gigante había sido la causa de la extinción de los dinosaurios.

Contestó al segundo toque. Más asombroso todavía, no colgó cuando comencé a divagar sobre el objetivo de mi llamada. Yo había leído su libro *T.*

rex and the Crater of Doom, que todavía es, en mi opinión, uno de los mejores ejemplos de divulgación científica centrada en la paleontología que se haya escrito nunca, y había quedado cautivado por la manera en que Álvarez había reunido las pistas que señalaban al asteroide. En el libro explicaba cómo el juego detectivesco se había iniciado en un desfiladero rocoso en las afueras de la comunidad italiana de Gubbio, en los Apeninos. Fue allí donde Álvarez se dio cuenta por primera vez del carácter insólito de la fina banda de arcilla que señalaba el final del Cretácico. Casualmente, mi familia estaba preparando un viaje a Italia para celebrar el vigésimo aniversario de bodas de mis padres. Sería la primera vez que iba a estar fuera de Norteamérica y quería que fuera algo memorable. En mi caso, el tema no iban a ser las basílicas ni los museos de arte, sino un peregrinaje a Gubbio para situarme en el punto en el que Álvarez había comenzado a descifrar uno de los mayores enigmas de la ciencia.

Pero necesitaba indicaciones, de modo que decidí ir directamente a la fuente.

El profesor Álvarez me dio instrucciones tan detalladas que incluso un niño sin la más mínima noción de italiano podría seguir. También hablamos un poco de mi interés por la ciencia. En retrospectiva, me sorprende que un gigante científico como Álvarez pudiera ser tan amable y generoso con su tiempo como él lo fue. Pero, por desgracia, resultó ser para nada, porque mi familia no fue a Gubbio aquel verano. Unas inundaciones hicieron que se cerrara la principal línea de ferrocarril desde Roma, así que me quedé desolado. Mis lloriqueos casi echaron a perder la segunda luna de miel de mis padres.

Sin embargo, cinco años después, estaba de nuevo en Italia para un curso de geología de campo de la facultad. Nos alojábamos en un pequeño observatorio en los Apeninos dirigido por Alessandro Montanari, uno de los

muchos científicos que se hizo famoso en la década de los ochenta por sus estudios sobre la extinción del final del Cretácico. En la visita del primer día pasamos por la biblioteca, donde una figura solitaria observaba con detenimiento un mapa geológico bajo una luz parpadeante.

«Quiero que todos conozcáis a mi amigo y tutor, Walter Álvarez —dijo Sandro en su cantarín acento italiano—. Algunos de vosotros habréis oído hablar de él.»

Me quedé paralizado. Nunca, antes o después, me he visto tan anonadado. El resto de la visita se volvió borroso, pero después me deslicé de nuevo a la biblioteca y abrí despacio la puerta. Álvarez todavía estaba allí, inclinado sobre el mapa en un trance de concentración. Me supo mal interrumpirlo, quizá estaba centrado en otro misterio no resuelto de la historia de la Tierra. Me presenté y, por segunda vez, me quedé anonadado cuando Álvarez recordó nuestras conversaciones de unos años antes.

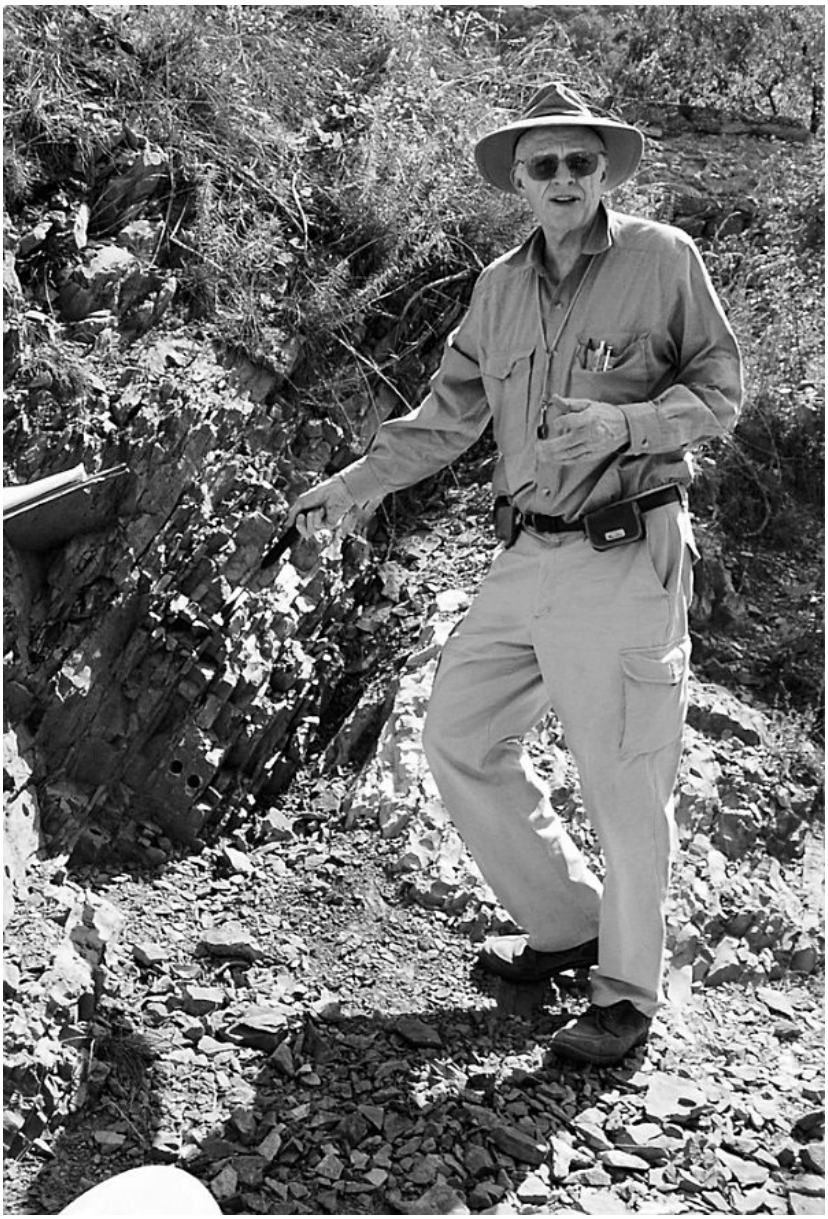
«¿Conseguiste viajar hasta Gubbio entonces?», me preguntó.

Solo pude balbucir un cohibido «no», pues no quería admitir que en realidad había malgastado su tiempo con aquella llamada telefónica… y con los varios mensajes de correo electrónico que la habían seguido.

«Bueno, entonces prepárate porque en unos pocos días llevaré allí a tu clase», replicó. Le mostré al instante una sonrisa de megavatios.

Días más tarde estábamos en Gubbio, reunidos en la garganta, con el sol del Mediterráneo lanzándonos sus rayos luminosos y los coches que zumbaban a toda velocidad a nuestro lado, con un acueducto del siglo XIV precariamente enclavado sobre los acantilados sobre nosotros. Walter Álvarez caminaba frente a nosotros. Llevaba unos pantalones caqui, llenos de muestras de rocas, y un sombrero de ala ancha y una camisa de color azul verdoso reflectante para repeler el sol. Sacó el martillo de la funda y señaló hacia abajo, a su derecha, a una fina ranura en la roca que cortaba la caliza

rosada que constituía la mayor parte del desfiladero. Esta roca era más blanda, más fina; se trataba de una capa de arcilla, de aproximadamente un centímetro de espesor, un punto de libro que separaba las calizas del Cretácico situadas debajo de las del periodo posterior a la extinción, el Paleógeno, situadas arriba. Fue aquí —este mismo hombre, de pie en este lugar, al observar esta franja de arcilla— donde se había concebido la teoría del asteroide un cuarto de siglo antes.



Walter Álvarez señala el límite entre las rocas del Cretácico (abajo) y las del Paleoceno (arriba) en Gubbio, Italia. El límite es el terrón situado entre el martillo de geólogo de Álvarez y su rodilla derecha. *Cortesía de Nicole Lunning.*

Después nos detuvimos en un restaurante con quinientos años de antigüedad, al pie de la carretera, para comer pasta con trufas y *biscotti* y beber vino blanco. Antes del almuerzo, firmamos diligentemente un libro de invitados forrado en piel, que estaba inscrito con los nombres de muchos de los geólogos y paleontólogos que han venido a Gubbio para estudiar el desfiladero y su célebre arcilla. Parecía un listado del Salón de la Fama, y nunca me he sentido más orgulloso al estampar una firma. Durante las dos horas siguientes, permanecí sentado frente a Walter, mientras él, entre bocados de *linguini*, nos contaba a mis deslumbrados compañeros de clase y a mí el relato de cómo descifró el misterio de los dinosaurios.

En los primeros años de la década de 1970, no mucho después de que terminara su tesis doctoral, la revolución de la tectónica de placas había conquistado la ciencia de la geología, y la gente había adquirido consciencia de que los continentes se movían a lo largo del tiempo. Una manera de poder seguir esos movimientos era observando la orientación de pequeños cristales de minerales magnéticos, que señalan hacia el Polo Norte cuando las lavas o los sedimentos se endurecen y transforman en piedra. Walter pensó que la nueva ciencia del paleomagnetismo podría ayudar a elucidar cómo se había formado la región Mediterránea, cómo las pequeñas placas de corteza rotaron y entrechocaron para formar la Italia actual y producir el solevamiento de los Alpes. Esto es lo que lo llevó por primera vez a Gubbio a medir fragmentos microscópicos de minerales dentro de la gruesa secuencia de caliza del desfiladero. Pero una vez allí, lo intrigó un misterio todavía mayor. Algunas de las rocas que medía estaban repletas de caparazones fósiles de todas formas y tamaños, que pertenecían a una gran diversidad de organismos

denominados «foraminíferos», minúsculos depredadores que flotan en el plancton oceánico. Sin embargo, por encima de estas rocas había unas calizas prácticamente vacías, tachonadas con unos pocos foraminíferos minúsculos y de aspecto simple.

Walter estaba observando una línea que separaba la vida de la muerte. Es el equivalente geológico a escuchar la grabación de los últimos momentos en la cabina de un avión, antes de dar paso al silencio.

No era la primera persona en darse cuenta de ello. Durante décadas, diversos geólogos habían trabajado en el desfiladero, y la labor minuciosa de una estudiante italiana llamada Isabella Premoli Silva había determinado que los foraminíferos de mayor diversidad eran del periodo Cretácico, y los de aspecto simple, del Paleógeno. La delgadísima separación entre ellos correspondía a lo que hacía tiempo que se había reconocido como una extinción en masa, un momento insólito de la historia de la Tierra, en el que muchísimas especies desaparecieron simultáneamente en todo el mundo.

Pero no era una extinción en masa como las demás. Las motas de plancton no fueron las únicas bajas, y no estuvo confinada al agua. Diezmó océanos y tierra firme, y eliminó a otros muchos tipos de plantas y animales.

Incluidos los dinosaurios.

No podía ser una coincidencia, pensó Walter. Lo que les ocurrió a los foraminíferos tuvo que estar relacionado con lo sucedido a los dinosaurios y a todos los demás seres perecidos, y quería descubrirlo.

La clave, se percató, estaba escondida en aquella minúscula franja de arcilla entre las calizas del Cretácico, ricas en fósiles, y las del Paleógeno, más bien estériles. Pero cuando la vio por primera vez, no le pareció nada especial. No bullía de fósiles destrozados, ni tenía vetas de vivos colores ni olía podrido. Era solo arcilla, tan fina que no se podían ver los granos individuales a simple vista.

Walter le pidió ayuda a su padre. Daba la casualidad que su padre era un físico al que le habían concedido el premio Nobel, Luis Álvarez, que había descubierto toda una serie de partículas subatómicas y había sido clave en el Proyecto Manhattan. (Incluso había volado tras el *Enola Gay* para supervisar los efectos de Little Boy cuando la lanzaron sobre Hiroshima.) El joven Álvarez pensó que el viejo Álvarez podría tener algunas ideas no convencionales para analizar químicamente la arcilla. Quizá había allí algo escondido que podría decirles cuánto tiempo había tardado la delgada capa en formarse. Si había sido de forma gradual, debido a millones de años de lenta acumulación de polvo en el océano profundo, entonces la muerte de los foraminíferos y, por lo tanto, de los dinosaurios, habría sido un proceso dilatado. Pero si se hubiera depositado de repente, esto significaría que el Cretácico debía de haber terminado en una catástrofe.

Medir el tiempo que ha tardado una capa de roca en formarse es complicado, uno de los quebraderos de cabeza al que se enfrentan todos los geólogos. Pero en este caso el equipo de padre e hijo dio con lo que creyeron que era una solución ingeniosa. Los metales pesados —algunos de los elementos que se encuentran en las regiones inferiores de la tabla periódica, como el iridio— son raros en la superficie de la Tierra, razón por la que la mayoría de las personas nunca han oído hablar de ellos. Pero hay cantidades minúsculas de metales pesados que caen a una tasa más o menos constante, desde las regiones más apartadas del espacio exterior, en forma de polvo cósmico. Los Álvarez razonaron que, si la capa de arcilla tenía solo una ínfima cantidad de iridio, entonces se habría formado muy rápidamente; si tenía una cantidad mayor, entonces se habría formado a lo largo de un periodo temporal más extenso. Nuevos instrumentos permitían ahora a los científicos medir concentraciones incluso muy pequeñas de iridio, y entre ellos figuraba uno que tenían en un laboratorio de Berkeley, que dirigía uno

de los colegas de Luis Álvarez.

No estaban preparados para lo que hallaron.

Encontraron iridio, efectivamente; muchísimo, demasiado. Había tanto iridio que se habrían tardado muchas decenas de millones de años —quizá incluso centenares de millones de años— de espolvoreo cósmico continuado para suministrarlo todo. Lo que era imposible, porque las calizas situadas debajo y encima de la arcilla estaban lo suficientemente bien datadas para que los Álvarez supieran que la capa de arcilla podía haberse depositado solo durante unos pocos millones de años, todo lo más. Algo estaba mal.

Quizá era un error, algún capricho local del desfiladero de Gubbio. De modo que se fueron a Dinamarca, donde unas rocas de la misma edad penetran en el mar Báltico. También aquí encontraron una cantidad anómala de iridio justo en la frontera entre el Cretácico y el Paleógeno. No pasó mucho tiempo antes de que lo que hacían los Álvarez llegara a oídos de un holandés joven y alto llamado Jan Smit, quien les informó de que también él había estado rastreando en busca de iridio… y había encontrado, asimismo, un máximo en la actual frontera de España. Pronto siguieron más informes de iridio, procedente de rocas formadas en tierra, en aguas someras y en el océano profundo, todas en aquel momento fatídico en el que los dinosaurios desaparecieron.

La anomalía del iridio era real. Los Álvarez examinaron los escenarios posibles; a saber, volcanes, inundaciones, cambio climático y otros, pero solo había uno que tuviera sentido. El iridio es superraro en la Tierra, pero mucho más común en el espacio exterior. ¿Podría algo procedente de las regiones lejanas del sistema solar haber aportado una bomba de iridio hace 66 millones de años? Quizá había sido la explosión de una supernova, pero más probablemente un cometa o un asteroide. Después de todo, como atestiguan los muchos cráteres que cacarañan la superficie de la Tierra y de la Luna,

estos visitantes interestelares nos bombardean ocasionalmente. Era una idea atrevida, pero no descabellada.

Luis y Walter Álvarez, con sus colegas de Berkeley Frank Asaro y Helen Michel, publicaron su provocativa teoría en *Science* en 1980. Esto dio paso a una década de frenesí científico. Los dinosaurios y las extinciones en masa aparecían constantemente en las noticias, la hipótesis del impacto se debatió en incontables libros y documentales de televisión, un asteroide asesino de dinosaurios apareció en la portada de *Time* y cientos de artículos científicos debatían sobre lo que realmente había acabado con los dinosaurios, con científicos tan diversos como paleontólogos, geólogos, químicos, ecólogos o astrónomos, que sopesaban la cuestión científica más candente del momento. Hubo disputas, egos enfrentados, pero el crisol del feroz debate exigió a cada uno lo mejor de sus conocimientos a la hora de reunir (o rebatir) las pruebas del impacto.

Hacia finales de 1980, era innegable que los Álvarez estaban en lo cierto: un asteroide o un cometa había colisionado efectivamente con el planeta hace 66 millones de años. No solo se encontró la misma capa de iridio por todo el mundo, sino que, asociadas a él, se descubrieron otras rarezas geológicas que indicaban un impacto. Había un extraño tipo de cuarzo en el que los planos minerales se habían hundido, dejando una señal reveladora de unas bandas paralelas que recorrían la estructura cristalina. Este «cuarzo colisionado» se había encontrado previamente en solo dos lugares, en los escombros de ensayos de bombas nucleares y en el interior de cráteres de meteoros, donde se había formado por las violentas ondas de choque de estos acontecimientos explosivos. Había esférulas y tectitas, unas balas de vidrio esféricas o en forma de lanza forjadas a partir de los productos fundidos de una gran colisión que se habían enfriado al caer a través de la atmósfera. Alrededor del golfo de México se descubrieron depósitos de tsunamis, que se dataron

directamente del límite Cretácico-Paleógeno, lo que demostraba que un acontecimiento monumental había causado terremotos monstruosos al mismo tiempo que el cuarzo adquiría las características indicadas y que caían las tectitas.

Después, a principios de la década de los noventa, se encontró por fin el cráter. La pistola humeante. Había costado un poco porque estaba enterrado bajo millones de años de sedimentos en Yucatán. Los únicos estudios detallados del área los habían llevado a cabo geólogos de compañías petroleras, que habían mantenido sus mapas y muestras bajo llave durante muchos años. Pero no podía haber ninguna duda; el agujero de ciento ochenta kilómetros de diámetro enterrado bajo México, el llamado cráter de Chicxulub, se dató como justo del final del Cretácico, hace 66 millones de años. Es uno de los mayores cráteres de la Tierra, una indicación de lo grande que era el asteroide, de lo catastrófico que habría sido el impacto. Probablemente fuera uno de los mayores asteroides, si no el mayor, que haya colisionado con la Tierra en los últimos quinientos millones de años. Probablemente los dinosaurios no tuvieron una sola oportunidad.

Los grandes debates en ciencia, en particular los que surgen de las revistas especializadas y llegan al dominio público, siempre atraen a los escépticos. Así ocurrió con la teoría del asteroide. Los inconformistas no podían aducir que no hubo un asteroide, ya que el descubrimiento del cráter de Chicxulub hizo que tal afirmación fuera ridícula. En cambio, afirmaron que se acusaba equivocadamente al asteroide, el cual había sido un espectador inocente que había impactado sin más en Yucatán, en un momento en que los dinosaurios y otros muchísimos seres —los pterosaurios voladores y los reptiles que vivían en el mar, los ammonites, las grandes y diversas comunidades de

foraminíferos oceánicos, y muchos otros— ya estaban encaminados hacia la extinción, al final del Cretácico. Todo lo más, el asteroide fue el golpe de gracia que dio fin a un holocausto que la naturaleza ya había iniciado.

Parece demasiada coincidencia para tomárselo en serio; un asteroide de diez kilómetros de diámetro que llega en el preciso momento en que miles de especies ya se hallan en su lecho de muerte. Sin embargo, a diferencia de quienes creen que la Tierra es plana o los que niegan el calentamiento global, estos escépticos tienen un argumento a su favor. Cuando el asteroide cayó del cielo, no interrumpió bruscamente una especie de mundo perdido, inmutable e idílico, de los dinosaurios, sino que impactó contra un planeta que ya se encontraba en una situación relativamente caótica. Los grandes volcanes de la actual India, cuya actividad el asteroide habría acelerado, ya habían empezado las erupciones unos cuantos millones de años antes. Las temperaturas ya se estaban enfriando gradualmente, y el nivel del mar fluctuaba de manera espectacular. ¿Es posible que algunos de estos factores influyeran en la extinción? Quizá fueron los principales culpables; quizá estos cambios ambientales a más largo plazo ya estaban haciendo que los dinosaurios se consumieran lentamente.

La única manera de contrastar estas ideas es observar muy detenidamente las pruebas de las que disponemos, es decir, los fósiles de dinosaurios. Lo que tenemos que hacer es seguir la evolución de los dinosaurios a lo largo del tiempo, ver si se dan tendencias a largo plazo y observar qué cambios tuvieron lugar en el límite entre el Cretácico y el Paleógeno o cerca de este, cuando el asteroide cayó sobre la Tierra. Aquí es donde yo entro en escena. Desde el momento en que hablé por primera vez por teléfono con Walter Álvarez, quedé enganchado al enigma de la extinción de los dinosaurios. Mi adicción se exacerbó cuando me encontré a su lado en el desfiladero de Gubbio. Entonces, como licenciado tenía finalmente una posibilidad de hacer

mi propia contribución al debate, utilizando una de las especialidades que había desarrollado como joven investigador, el recurso a grandes bases de datos y estadística para estudiar tendencias evolutivas.

Mi introducción en el debate sobre la extinción fue una empresa conjunta con mi viejo amigo Richard Butler. Unos años antes nos abríamos camino entre la maleza de las canteras polacas, a la caza de las huellas de los dinosaurios más antiguos; ahora, en 2012, mientras empezaba a redondear la tesis doctoral, queríamos saber por qué los descendientes de aquellos escasos antepasados habían desaparecido más de 150 millones de años más tarde, después de haber tenido un éxito tan fenomenal. La pregunta que nos hacíamos era la siguiente: ¿cómo habían cambiado los dinosaurios durante los 10 a 15 millones de años antes del golpe del asteroide? La manera de enfocar la cuestión fue recurriendo a la disparidad morfológica, la misma métrica que había empleado para estudiar los dinosaurios más antiguos de todos, que cuantifica la proporción de diversidad anatómica a lo largo del tiempo. Una disparidad que aumentara o que permaneciera estable durante la parte final del Cretácico indicaría que los dinosaurios funcionaban relativamente bien en el momento de la caída del asteroide, mientras que una disparidad reducida indicaría que tenían problemas y que, quizá, se hallaban ya camino de la extinción.

Trabajamos con los números y obtuvimos unos resultados intrigantes. La mayoría de los dinosaurios tenían una disparidad relativamente estable durante la última bocanada antes del impacto, entre ellos, los terópodos carnívoros, los saurópodos cuellilargos y los herbívoros entre pequeños y medianos, como los paquicefalosaurios de cabeza en domo. No había señal alguna de que les ocurriera nada anómalo. Pero había dos grupos que se encontraban en plena reducción de la disparidad: los ceratópsidos cornudos como *Triceratops* y los dinosaurios de pico de pato. Eran los dos grupos

principales de herbívoros de gran envergadura, consumidores de cantidades enormes de plantas gracias a una masticación refinada y a la capacidad de cortar hojas. Si hubiéramos estado allí durante el Cretácico tardío —en algún momento hace entre 80 y 66 millones de años—, serían estos dinosaurios los que habrían sido más abundantes, al menos en Norteamérica, donde el registro fósil de esta época es mejor. Eran las vacas del Cretácico, los herbívoros claves en la base de la cadena trófica.

Por la misma época en que nosotros hacíamos este estudio, otros investigadores indagaban en la extinción de los dinosaurios desde otros ángulos. En Londres, varios equipos dirigidos por Paul Upchurch y Paul Barrett emprendieron un censo de la diversidad de las especies de dinosaurios a lo largo de todo el Mesozoico, un recuento simple de cuántos dinosaurios vivían en cada área dada de su reinado, corregido por los sesgos causados por la calidad desigual del registro fósil. Encontraron que los dinosaurios, en conjunto, eran todavía muy diversos en la época en que cayó el asteroide, pues había numerosas especies retozando no solo en Norteamérica, sino por todo el planeta. Pero, curiosamente, los cornudos y los de pico de pato experimentaban una reducción en el número de especies al final mismo del Cretácico, coincidente con su reducción en disparidad.

¿Qué habría significado todo esto en términos del mundo real? Después de todo, era una mezcla curiosa, la mayoría de los dinosaurios lo pasaban bien, pero los grandes comedores de plantas mostraban señales de estrés. Esta pregunta la abordó un ingenioso estudio con modelo informático que hizo uno de los estudiantes de posgrado de la nueva generación, de tendencias muy cuantitativas, Jonathan Mitchell, de la Universidad de Chicago. Jon y su equipo elaboraron unas redes tróficas para varios ecosistemas de dinosaurios del Cretácico, sobre la base de una meticulosa revisión de todos los fósiles que se habían encontrado en localidades de campo concretos, no solo de

dinosaurios, sino de todos los animales con los que convivían, desde cocodrilos y mamíferos hasta insectos. Después usaron ordenadores para simular qué ocurriría si se eliminaran algunas especies. El resultado fue sorprendente, ya que aquellas redes tróficas que existían cuando el asteroide golpeó, y que tenían menos herbívoros de gran tamaño en la base debido a la reducción en la diversidad, se vinieron abajo más fácilmente que las redes tróficas más diversas de solo un millón de años antes del impacto. En otras palabras, la pérdida de algunos de los grandes herbívoros, incluso sin la reducción de ninguno de los demás dinosaurios, hizo que los ecosistemas del final del Cretácico fueran muy vulnerables.

Los análisis estadísticos y las simulaciones informáticas están muy bien, y no hay duda de que son el futuro de la investigación de los dinosaurios, pero pueden ser un poco abstractos, y a veces es útil simplificar las cosas. En paleontología, esto significa volver a los propios fósiles, sostenerlos entre las manos y pensar en ellos detenidamente, como animales vivos, que respiraban, y considerarlos como los mismos animales que tuvieron que habérselas primero con aquellas erupciones volcánicas y con los cambios de temperatura y del nivel del mar del Cretácico tardío, y que después vieron venírseles encima un asteroide del tamaño de una montaña.

Lo que queremos estudiar en realidad son los fósiles de estos últimos dinosaurios supervivientes, los que presenciaron o estuvieron cerca de presenciar cómo el asteroide hacía el trabajo sucio. Por desgracia, solo hay unos pocos lugares en el mundo en los que se conservan este tipo de fósiles… pero están empezando a contar un relato convincente.

El lugar más famoso, sin lugar a dudas, es Hell Creek. La gente ha estado recuperando los huesos de *Tyrannosaurus rex*, *Triceratops* y sus contemporáneos desde hace más de un siglo por todas la Grandes Llanuras superiores del Oeste americano. Las rocas de Hell Creek también están bien

datadas. Y esto significa que se puede hacer el seguimiento de la diversidad y la abundancia de los dinosaurios a lo largo del tiempo, hasta la capa misma de iridio, la huella del asteroide. Hay varios científicos que han hecho precisamente esto, como mi amigo David Fastovsky —autor del mejor manual sobre dinosaurios que hay en el mercado— y su colega Peter Sheehan, un equipo dirigido por Dean Pearson, y otros equipos encabezados por Tyler Lyson, un científico joven y con talento que creció en un extenso rancho de Dakota del Norte, en el corazón de uno de los mejores espacios de las tierras baldías en lo que a huesos de dinosaurios se refiere. Todos ellos han encontrado lo mismo, que los dinosaurios prosperaban durante la época en que se depositaron las rocas de Hell Creek, mientras los volcanes de la actual India entraban en erupción y la temperatura y el nivel del mar cambiaban, hasta el momento mismo del impacto del asteroide. Hay incluso huesos de *Triceratops* a unos pocos centímetros bajo la capa de iridio. Parece que el asteroide cogió a los residentes de Hell Creek felizmente desprevenidos, en el apogeo mismo de sus días de gloria.

La situación era similar en España, donde se están haciendo descubrimientos nuevos e importantes en los Pirineos, a lo largo de la frontera con Francia. Esta región está siendo rastreada por un enérgico dúo de paleontólogos treintañeros, Bernat Vila y Albert Sellés, dos de las personas más dedicadas que conozco, y que a menudo se ven trabajando durante meses seguidos sin un salario, víctimas de la recuperación tortuosamente lenta de España tras una serie de crisis financieras que empezaron a finales de la década del 2000. Esto no los ha detenido de ninguna manera. No paran de encontrar huesos, dientes, huellas e incluso huevos de dinosaurios. Dichos fósiles demuestran que una comunidad diversa —que albergaba terópodos, saurópodos y picos de pato— persistió en la zona hasta el final mismo del Cretácico, sin indicación alguna de que nada anduviese mal. Es interesante el

hecho de que, unos pocos millones de años antes del impacto del asteroide, hubo un breve acontecimiento de sustitución, cuando los dinosaurios acorazados desaparecieron a nivel local y los herbívoros más primitivos fueron reemplazados por unos avanzados picos de pato. Es posible que el hecho esté relacionado con la reducción de los grandes herbívoros en Norteamérica, aunque resulta difícil de demostrar. Puede ser que la culpa fuera de los cambios en el nivel del mar; que, a medida que los mares subían y bajaban, horadasen la tierra en la que podían vivir los dinosaurios, lo que habría conducido a algunos pequeños cambios en la composición de los ecosistemas.

Por último, parece que la historia fue la misma en Rumanía, donde Mátyás Vremir y Zoltán Csiki-Sava han estado recuperando una gran cantidad de dinosaurios del Cretácico tardío, y también en Brasil, donde Roberto Candeiro y sus alumnos siguen encontrando nuevos dientes y huesos de terópodos y saurópodos enormes que probablemente persistieron hasta el último momento. Los inconvenientes de estos lugares es que las rocas todavía no están bien datadas, de modo que no podemos estar absolutamente seguros de dónde se encuentran los fósiles en relación con la frontera Cretácico-Paleógeno, pero no hay duda de que los dinosaurios de ambas regiones pertenecen por su edad al Cretácico tardío, y no hay señal alguna de que tuvieran ningún tipo de problema.

Había tantas pruebas nuevas a partir de los fósiles, de la estadística y de los modelos informáticos que Richard Butler y yo creímos que ya había llegado el momento de sintetizarlas. Convinimos en algo parecido a una idea peligrosa, la de que quizá podríamos reunir a un equipo de expertos en dinosaurios para que se sentaran, discutieran todo lo que sabemos en la actualidad sobre la extinción de los dinosaurios e intentáramos llegar a un consenso sobre por qué pensamos que los dinosaurios se extinguieron. Hacía

décadas que los paleontólogos discutían sobre este tema, y en realidad fueron los que trabajaban en dinosaurios los escépticos más acérrimos de la hipótesis del asteroide en la década de los ochenta. Pensábamos que nuestro pequeño y subversivo ardid podía terminar en un punto muerto o, peor, en una pelea a gritos, pero ocurrió todo lo contrario. El equipo llegó a un acuerdo.

A los dinosaurios les iba bien en el Cretácico tardío. La diversidad general —tanto en términos de número de especies como de disparidad anatómica— era relativamente estable. No se había reducido de forma gradual durante millones y millones de años, y tampoco aumentaba claramente. La totalidad de los principales grupos de dinosaurios persistieron hasta los últimos momentos del Cretácico, terópodos grandes y pequeños, saurópodos, dinosaurios cornudos y de pico de pato, dinosaurios de cabeza en domo, dinosaurios acorazados, herbívoros más pequeños y omnívoros. Al menos en Norteamérica, donde el registro fósil es mejor, sabemos que *T. rex*, *Triceratops* y los demás dinosaurios de Hell Creek estaban allí cuando el asteroide destruyó gran parte de la Tierra. El conjunto de los hechos descarta la hipótesis, antaño popular, de que los dinosaurios se fueron consumiendo gradualmente, debido a cambios a largo plazo en el nivel del mar y la temperatura, o a que los volcanes de la India actual habrían empezado a eliminar a los dinosaurios en épocas anteriores del Cretácico tardío, algunos millones de años antes del final.

En lugar de ello, en términos geológicos encontramos que no queda ninguna duda de que la extinción de los dinosaurios fue abrupta; que tuvo lugar, todo lo más, en el decurso de unos pocos miles de años. Los dinosaurios prosperaban y, después, desaparecen de las rocas sin más, al mismo tiempo en todo el mundo, de todos los lugares en los que se conocen rocas del Cretácico tardío. Nunca encontramos sus fósiles en rocas del Paleógeno, depositadas tras el impacto del asteroide; nada, ni un solo hueso,

ni una única huella, en parte alguna. Esto significa que hay que buscar al culpable en un acontecimiento catastrófico repentino, espectacular, y el asteroide es un obvio candidato.

Sin embargo, queda un matiz. Los grandes herbívoros sí que experimentaron una disminución parcial justo antes del final del Cretácico, y los dinosaurios europeos vivieron un proceso de sustitución. Parece que esto tuvo consecuencias, pues hizo que los ecosistemas fueran más susceptibles al colapso, haciendo más probable que la extinción de unas pocas especies reverberara a través de toda la cadena trófica.

Así pues, en conjunto, parece que el asteroide llegó en un momento horrible para los dinosaurios. Si hubiera caído algunos millones de años antes, previamente a la reducción de la diversidad de los herbívoros y quizá de la sustitución europea, los ecosistemas habrían sido más robustos y habrían estado en una mejor posición para enfrentarse al impacto. Si hubiera ocurrido algunos millones de años más tarde, quizá la diversidad de los herbívoros se hubiera recuperado —como lo había hecho otras incontables veces a lo largo de los más de 150 millones de años precedentes en la evolución de los dinosaurios, en que tuvieron lugar pequeñas reducciones de la diversidad y se corrigieron— y de nuevo los ecosistemas hubieran sido más robustos. Probablemente, nunca es buen momento para que un asteroide de diez kilómetros de diámetro llegue disparado desde el cosmos, pero para los dinosaurios, hace unos 66 millones de años pudo haber sido uno de los peores momentos posibles, un momento muy concreto en el que se hallaban particularmente expuestos. Si aquello hubiera ocurrido unos pocos millones de años antes o después, quizá no habría solo gaviotas congregándose al otro lado de mi ventana, sino también tiranosaurios y saurópodos.

O quizá no. Es posible que el enorme asteroide hubiera acabado con ellos de todos modos. Quizá no había manera de escapar de algo de semejante

tamaño, con todo el potencial de su enorme impacto, mientras se abría paso a toda velocidad hasta el Yucatán. Fuera cual fuese la secuencia exacta de los acontecimientos, estoy convencido de que el asteroide fue la razón principal de la extinción de los dinosaurios no aviares. Si hay una proposición, única y directa, sobre la que yo apostaría mi carrera, sería esta: sin asteroide, no habría habido extinción de los dinosaurios.

Existe un enigma final que todavía no he abordado. ¿Por qué murieron todos los dinosaurios no aviares al final del Cretácico? Después de todo, el asteroide no se llevó todo por delante. Muchísimos animales superaron la prueba, como ranas, salamandras, lagartos y serpientes, tortugas y cocodrilos, mamíferos y, sí, algunos dinosaurios… disfrazados de aves. Por no mencionar a tantos invertebrados con caparazón y peces en los océanos, aunque esto daría sin duda para el tema de otro libro. Así pues, ¿qué pasaba con *T. rex*, *Triceratops*, los saurópodos y sus parientes, que los convirtió en una diana?

Es una pregunta clave. Queremos darle respuesta porque es relevante para el mundo moderno en el que vivimos. Cuando se da un cambio ambiental y climático repentino, ¿qué vive y qué muere? Son los supuestos prácticos de la historia de la vida —registrados por los fósiles, como la extinción del final del Cretácico— lo que nos proporciona una idea fundamental.

Lo primero que hemos de entender es que, aunque algunas especies sobrevivieron al fuego del infierno inmediato al impacto y al trastorno climático a plazo más largo, la mayoría no lo hizo. Se estima que se extinguió el setenta por ciento. Esto incluye muchísimos anfibios y reptiles, y probablemente la mayoría de los mamíferos y las aves, de modo que no se trata de que «los dinosaurios murieron y los mamíferos y las aves

sobrevivieron» sin más, una frase que a menudo repiten igual que un loro los libros de texto y documentales televisivos. Si no fuera por ciertos genes de gran utilidad o por alguna racha de buena suerte, nuestros antepasados mamíferos podrían haber seguido el camino de los dinosaurios, y yo no estaría aquí, mecanografiando este libro.

Sin embargo, parece que hay algunas cosas que distinguen a las víctimas de los supervivientes. Los mamíferos que sobrevivieron eran, por lo general, más pequeños que los que perecieron, y tenían dietas más omnívoras. Parece que poder escabullirse, esconderse en madrigueras y comer toda una variedad de alimentos diferentes fue ventajoso en la locura del mundo posterior al impacto. A tortugas y cocodrilos les fue muy bien en comparación con otros vertebrados, y ello se debe probablemente a que pudieron esconderse bajo el agua durante aquellas primeras horas de caos, librándose así de los diluvios de balas rocosas y de los terremotos. Y no solo, sino que sus ecosistemas acuáticos se basaban en detritos. Las criaturas en la base de su cadena trófica comían plantas en descomposición y otra materia orgánica, no árboles ni arbustos ni flores, de modo que las redes tróficas de las que formaban parte no se habrían venido abajo cuando la fotosíntesis se detuvo y las plantas empezaron a morir. En realidad, la descomposición de los vegetales les habría proporcionado mucho más alimento.

Los dinosaurios no contaban con ninguna de estas ventajas. La mayoría eran grandes, y no podían precipitarse al interior de madrigueras y esperar a que la tormenta de fuego terminara sin más. Tampoco pudieron esconderse bajo el agua. Formaban parte de unas cadenas tróficas en cuya base se encontraban especies de plantas de gran tamaño, de modo que cuando la luz del sol quedó bloqueada, la fotosíntesis se hizo imposible y las plantas empezaron a morir, hubo un efecto dominó. Además, la mayoría de los dinosaurios tenían dietas muy especializadas, comían carne o tipos concretos

de plantas, sin la flexibilidad asociada a los paladares más atrevidos de los mamíferos supervivientes. Y también tenían otras desventajas. Muchos de ellos eran probablemente de sangre caliente, o al menos poseían un metabolismo de ritmo elevado, de modo que necesitaban mucho alimento. No podían mantenerse durante meses sin comida, como algunos anfibios y reptiles. Ponían huevos, que tardaban entre tres y seis meses en hacer eclosión, cerca del doble de tiempo que los de las aves. Después, las crías de dinosaurios tardaban muchos años en crecer hasta ser adultos, una adolescencia larga y tortuosa que los habría hecho particularmente vulnerables a los cambios ambientales.

Después de la caída del asteroide, es probable que no hubiera una única cosa que sellara la suerte de los dinosaurios. Tenían todo un cúmulo de cargas que operaban en su contra. Cosas como el pequeño tamaño, la dieta omnívora o una reproducción rápida no garantizaban la supervivencia, pero cada una de ellas aumentaba las probabilidades de sobrevivir en lo que fue seguramente una vorágine de azar, a medida que la Tierra se transformaba en un casino veleidoso. Si redujésemos la vida en aquel momento a un juego de naipes, los dinosaurios se habrían quedado con las peores cartas.

Sin embargo, algunas especies tuvieron a su disposición una escalera real. Entre ellas estaban nuestros antepasados del tamaño de ratones, que pudieron superar la barrera y pronto tuvieron la oportunidad de fundar su propia dinastía. Después estaban las aves. Muchas aves y sus primos cercanos, los dinosaurios emplumados, murieron; todos los dinosaurios de cuatro alas y los dinosaurios parecidos a murciélagos, todas las aves primitivas con cola larga y dientes. Pero las aves de estilo moderno resistieron. No sabemos exactamente por qué. Quizá se debió a que sus grandes alas y potentes músculos pectorales les permitieron alejarse volando literalmente del caos y encontrar un refugio seguro. Quizá se debió a la rápida eclosión de los

huevos y el crecimiento acelerado de los polluelos hasta hacerse adultos. Pudo ser que tuviesen una alimentación especializada, basada en semillas, esas pequeñas y nutritivas pepitas que pueden sobrevivir en el suelo durante años, décadas e incluso siglos. Lo más probable es que fuera una combinación de estas ventajas y de otras que todavía no hemos reconocido. Y además, una gran cantidad de buena suerte.

Después de todo, hay muchas cosas sobre la evolución —sobre la vida— que se reducen a la suerte. Los dinosaurios tuvieron su gran oportunidad de remontar después de que aquellos terribles volcanes de hace 250 millones de años devastaran casi todas las especies de la Tierra, y después tuvieron la buena fortuna de superar una segunda extinción al final del Triásico, que eliminó a sus competidores crocodilios. Ahora se habían vuelto las tornas, y *T. rex* y *Triceratops* habían desaparecido. Los saurópodos ya no harían retumbar la tierra nunca más. Pero no olvidemos lo que son las aves: dinosaurios que sobrevivieron y que están todavía con nosotros.

El imperio de los dinosaurios puede haber terminado, pero los dinosaurios permanecen.

EPÍLOGO

DESPUÉS *de los* DINOSAURIOS

Cada mes de mayo, me dirijo al desierto del nordeste de Nuevo México, no muy lejos de las Four Corners.[7] Es casi como un descanso justo después de los exámenes y de las calificaciones de los trabajos y de la agitación usual del fin del semestre. Por lo general, me quedo allí un par de semanas y, para cuando terminan, la calma del desierto vacío y la comida picante que preparamos por las noches en el campamento han conseguido aliviarme el estrés.

Sin embargo, no son unas vacaciones. Como es común cuando me muevo durante estos días, estoy aquí por trabajo, para hacer lo que he venido haciendo durante la última década por todo el mundo, en canteras polacas y sobre la helada plataforma mareal de Escocia, a la sombra de castillos en Transilvania, en el interior de Brasil o en la sauna radiante de Hell Creek.

Estoy aquí para encontrar fósiles.

Muchos de esos fósiles, desde luego, son dinosaurios. De hecho, figuran entre los últimos dinosaurios supervivientes, que vivían a unos mil quinientos kilómetros al sur de Hell Creek durante el puñado de millones de años finales del Cretácico. Prosperaban en una época en la que parecía que la historia se había detenido, en la que daba la impresión de que los dinosaurios seguirían domeñando el mundo para siempre, como lo habían hecho durante más de 150 millones de años. Encontramos los huesos de los tiranosaurios y de los enormes saurópodos, los cráneos abovedados que los paquicefalosaurios utilizaban para golpearse de cabeza unos contra otros, las mandíbulas con las que los dinosaurios cornudos y de pico de pato cortaban plantas y muchos dientes de raptores y de otros terópodos pequeños que se escabullían por

entre los más grandullones. Tantas especies conviviendo en armonía, y ningún indicio de que las cosas no iban a tardar en ponerse horriblemente feas.

Sin embargo, a decir verdad, no estoy aquí por los dinosaurios. Esto puede parecer un sacrilegio, porque he pasado la mayor parte de mi joven carrera sobre la pista de *T. rex* y de *Triceratops*. Pero lo que intento es entender qué ocurrió después de que los dinosaurios desaparecieran, cómo se curó la Tierra, cómo empezó todo de nuevo y se forjó un nuevo mundo.

La mayor parte de las tierras yermas pintadas a bandas como un caramelo de esa parte de Nuevo México —en el amplio territorio y en su mayor parte deshabitado del país de los navajos, alrededor de las ciudades de Cuba y Farmington— están esculpidas en rocas depositadas en ríos y lagos durante los primeros millones de años posteriores al impacto del asteroide. Han desaparecido los dientes de dinosaurios y los grandes fragmentos de huesos de saurópodos, tan comunes en las formaciones del Cretácico tardío de la zona, depositadas a solo unos pocos metros debajo de las rocas de las que nos ocupamos ahora, las cuales datan del periodo siguiente, el Paleógeno, entre 66 y 56 millones de años. Hubo aquí un cambio repentino; el asteroide se llevó un mundo y dio entrada a otro. Había muchos dinosaurios y después, de golpe, no había ninguno en absoluto. Se trata de un patrón siniestramente similar a lo que Walter Álvarez vio en los foraminíferos del desfiladero de Gubbio.

Camino por las secas colinas de Nuevo México con uno de mis mejores amigos en el mundo de la ciencia, Tom Williamson, conservador del Museo de Historia Natural de Albuquerque. Tom lleva excavando por el mundo desde hace veinticinco años, puesto que empezó como estudiante de posgrado. Suele traer consigo a sus dos hijos gemelos, Ryan y Taylor, que, después de innumerables acampadas con su padre, han desarrollado una gran

facilidad para encontrar fósiles, hasta el punto de que rivaliza con la de casi todos los paleontólogos que conozco, incluidos Grzegorz Niedźwiedzki y Mátyás Vremir. Otras veces, Tom viene aquí con sus alumnos, jóvenes navajos de las reservas circundantes, cuyas familias han vivido durante generaciones en esta tierra sagrada. Y una vez al año, en mayo, Tom se reúne conmigo y con mis alumnos de Edimburgo. Ryan y Taylor, que ahora van al instituto, suelen seguirnos a todas partes, y nos lo pasamos la mar de bien buscando fósiles durante el día y sentándonos alrededor de la fogata del campamento por la noche, para contar el tipo de chistes bobos e incomprensibles para quien no forme parte del grupo que se desarrollan tras muchos años juntos en el campo.

Trabajo de campo en las tierras yermas de la cuenca de San Juan, en Nuevo México, Estados Unidos. *Tom Williamson.*

El autor recolecta fósiles de los mamíferos que sustituyeron a los dinosaurios.

Tom está dotado de una habilidad de la que yo carezco, muy útil para un paleontólogo. Tiene una memoria fotográfica. Él dice que no es verdad, pero se trata de falsa modestia o de engaño, ya que es capaz de reconocer cada pequeño montículo y peñasco del desierto, formas que a mí me parecen todas iguales. Puede recordar con un detalle exacto casi todos los fósiles que ha recogido en estos lugares, lo que es algo sorprendente, porque hasta ahora ha recolectado miles, quizá decenas de miles.

Dientes fósiles de un mamífero que vivió unos pocos cientos de miles de años después del impacto del asteroide del final del Cretácico, de Nuevo México.

Hay fósiles esparcidos por todo el paisaje, los cuales surgen al erosionarse las rocas del Paleógeno. Aparte de unos pocos huesos de aves aquí y allá, no hay fósiles de dinosaurios, sino de las mandíbulas, los dientes y los esqueletos de los seres que les dieron relevo, las especies que iniciaron la siguiente gran dinastía de la historia de la Tierra, que incluye a muchos de los animales más conocidos del mundo moderno, incluidos nosotros.

Los mamíferos.

Como el lector recordará, los mamíferos aparecieron junto con los dinosaurios, en la violenta e impredecible Pangea, hace más de 200 millones de años, en el Triásico. Pero unos y otros siguieron después caminos divergentes. Mientras que los dinosaurios se sobrepusieron a sus

competidores iniciales, los crocodilios, superaron la extinción del final del Triásico, crecieron hasta alcanzar unos tamaños colosales y se extendieron por todos los continentes, los mamíferos permanecieron en la sombra. Se acostumbraron a sobrevivir en el anonimato, aprendieron a comer distintos tipos de alimento, a esconderse en madrigueras y a desplazarse por el entorno sin ser detectados; algunos incluso descubrieron cómo planear por la bóveda arbórea, y otros cómo nadar. Durante todo este tiempo el tamaño fue siempre modesto. Ningún mamífero que viviera con los dinosaurios alcanzó un tamaño superior al de un tejón. Eran actores secundarios en la puesta en escena del Mesozoico.

En Nuevo México, sin embargo, el relato es diferente. Esos miles de fósiles que Tom puede catalogar de forma meticulosa en la mente pertenecen a una asombrosa diversidad de especies. Van desde insectívoros diminutos, del tamaño de una musaraña, no muy diferentes de las sabandijas que se apresuraban bajo los pies de los dinosaurios, a excavadores del tamaño de tejones, carnívoros de dientes de sable e incluso herbívoros del tamaño de una vaca. Todos vivieron durante el inicio del Paleógeno, a medio millón de años del impacto del asteroide.

A solo quinientos mil años del día más destructivo de la historia de la Tierra, los ecosistemas ya se habían recuperado. La temperatura no era fría como la de un invierno nuclear, ni caliente como la de un invernadero. Los bosques de coníferas, ginkgos y una diversidad creciente de plantas con flores se alzaban hacia el cielo; unos primos primitivos de los patos y los somormujos deambulaban cerca de las riberas lacustres, mientras que las tortugas chapoteaban lejos del litoral, ignorantes de los cocodrilos que acechaban bajo el agua. Pero ya no había tiranosaurios, ni saurópodos ni picos de pato, pues habían sido sustituidos por la repentina abundancia de mamíferos, que estallaron en una gran diversidad cuando se les presentó una

oportunidad que habían estado ansiando durante cientos de millones de años, en un campo de juego amplio y abierto, libre de dinosaurios.

Entre los mamíferos que Tom y sus equipos han descubierto se encuentra el esqueleto de un animal del tamaño de un cachorro llamado *Torrejonia*. Tenía unas extremidades larguiruchas y unos extensos dedos en manos y pies, y es probable que tuviese un aspecto, me atrevo a decirlo, muy tierno y adorable. Vivió unos tres millones de años después del impacto del asteroide, pero su grácil esqueleto no parece fuera de lugar en el mundo que conocemos en la actualidad. Casi podemos imaginarlo saltando entre los árboles, con esos largos dedos aferrados a las ramas.

Torrejonia es uno de los primates más antiguos, un primo nuestro, relativamente cercano. Es un recordatorio claro de que nosotros —usted, yo, todos los humanos— tuvimos ancestros que estaban allí aquel día terrible, que vieron la roca que cayó del cielo, que resistieron el calor, los terremotos y el invierno nuclear, que consiguieron rebasar el límite entre el Cretácico y el Paleógeno, y que después, ya en el otro lado, evolucionaron en saltadores arborícolas como *Torrejonia*. Otros 60 millones de años de evolución, aproximadamente, acabarían por transformar a estos humildes protoprimates en simios bípedos, que filosofaban, que escribían o leían libros y que buscaban fósiles. Si el asteroide nunca hubiera caído sobre la Tierra, si nunca hubiera iniciado aquella reacción en cadena de extinciones y procesos evolutivos, es probable que los dinosaurios siguiesen estando aquí, y nosotros no.

Hay un recordatorio todavía más claro, una lección de gran importancia que se puede extraer de la extinción de los dinosaurios. Lo que ocurrió al final del Cretácico nos dice que incluso los animales que dominan sin rivales en un momento pueden extinguirse… y de manera muy repentina. Los dinosaurios habían estado aquí durante más de 150 millones de años cuando

les llegó la hora. Habían soportado toda clase de adversidades, la evolución los había dotado de superpoderes, como un metabolismo rápido y un tamaño enorme, y habían vencido a sus rivales, de manera que reinaban sobre todo un planeta. Algunos desarrollaron alas, y podían volar más allá de los límites del suelo firme; otros hacían temblar de verdad la Tierra cuando caminaban. Es probable que hubiera varios miles de millones de dinosaurios distribuidos por todo el mundo, desde los valles de Hell Creek hasta las islas de Europa, que se despertaron aquel día de hace 66 millones de años seguros de su lugar indisputado en el pináculo de la naturaleza.

Después, literalmente en una fracción de segundo, se terminó.

Los humanos llevamos ahora la corona que una vez perteneció a los dinosaurios. Estamos seguros de nuestro lugar en la naturaleza, incluso cuando nuestras acciones están cambiando rápidamente el planeta que nos rodea. Esto me inquieta, y hay un pensamiento que no se me quita de la cabeza mientras camino por el duro desierto de Nuevo México, al ver cómo los huesos de los dinosaurios dejan paso de manera muy abrupta a los fósiles de *Torrejonia* y otros mamíferos.

Si les pudo suceder a los dinosaurios, ¿podría ocurrirnos también a nosotros?

NOTAS *sobre las* FUENTES

La principal fuente de información para este libro ha sido mi experiencia personal en el estudio de los fósiles, el trabajo de campo, las visitas a las colecciones de museos y las muchas discusiones con colegas científicos y amigos. Durante su escritura he revisado muchos de los artículos científicos que he escrito para diferentes revistas y mi manual *Dinosaur Paleobiology* (Hoboken, Wiley-Blackwell, 2012), así como distintos artículos de divulgación científica que he escrito para *Scientific American* y *Conversation*. En las notas que siguen, menciono algún material y fuentes que he usado de manera suplementaria, y que pondrán al lector sobre la pista de más información.

PRÓLOGO. La edad de oro de los descubrimientos

El relato de mi viaje a Jinzhou para estudiar el fósil de *Zhenyuanlong* lo conté en uno de mis artículos para *Scientific American*, «Taking Wing», vol. 316, n.º 1 (enero de 2017), 48-55. [Hay trad. cast.: «Origen y evolución de las aves», *Investigación y ciencia*, vol. 486 (marzo de 2017), 56-63.] Junchang Lu y yo describimos al *Zhenyuanlong* en un artículo de 2015 en *Scientific Reports* 5, artículo n.º 11775.

1. EL ALBA DE LOS DINOSAURIOS

Hay dos libros de divulgación científica bien escritos sobre la extinción de finales del Pérmico; uno de mi antiguo director del trabajo de máster, Mike Benton (*When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time*, Thames & Hudson, 2003), y el otro por el gran paleontólogo del Smithsonian Douglas Erwin (*Extinction: How Life on Earth Nearly Ended 250 Million Years Ago*, Princeton University Press, 2006). Zhong-Qiang Chen y Mike Benton escribieron un breve repaso, parcialmente técnico, de la extinción y recuperación posterior para *Nature Geoscience* (2012, 5, 375-383). Existe información puesta al día sobre la época y la naturaleza de las erupciones volcánicas que causaron la extinción publicada por Seth Burgess y otros colegas en *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, n.º 9 (septiembre de 2014), 3316-3321, y *Science Advances* 1, n.º 7 (agosto de 2015), e1500470. Hay algunos artículos técnicos excelentes sobre este tema escritos por Jonathan Payne, Peter Ward, Daniel Lehrmann, Paul Wignall y mi colega en Edimburgo Rachel Wood y su alumno de doctorado Matt Clarkson, a quien una vez convencí para que se incorporara a un comité de la facultad solo pocos días después de que terminara su tesis doctoral.

Grzegorz Niedźwiedzki ha publicado numerosos artículos sobre los rastros del Pérmico-Triásico de la sierra de Santa Cruz en Polonia. En muchos de ellos lo acompañan sus amigos Tadeusz Ptaszyński, Gerard Gierliński y Grzegorz Pieńkowski, del Instituto Geológico Polaco, un tipo encantador que participó activamente en el movimiento Solidaridad en la década de 1980, y que recibió como recompensa por su activismo político un puesto de cónsul general en Australia, cuando los demócratas accedieron al poder después de la caída del comunismo, y que nos ofreció amablemente su casa de invitados y nos atiborró de *kielbasa* cuando pasamos por el distrito de los lagos, en el nordeste de Polonia, de camino a Lituania para buscar fósiles. Nuestro trabajo

conjunto sobre *Prorotodacylus* y huellas de dinosauromorfos primitivos se publicó primero en 2010, como Stephen L. Brusatte, Grzegorz Niedźwiedzki y Richard J. Butler, «Footprints Pull Origin and Diversification of Dinosaur Stem Lineage Deep into Early Triassic», *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 278 (2011), 1107-1113, y posteriormente como una monografía más extensa con Grzegorz como primer autor dentro de Sterling J. Nesbitt, Julia B. Desojo y Randall B. Irmis, eds., *Anatomy, Phylogeny, and Palaeobiology of Early Archosaurs and Their Kin*, Geological Society of London Special Publications, n.º 379, 2013, 319-351. Paul Olsen, Hartmut Haubold, Claudia Marsicano, Hendrik Klein, Georges Gand y Georges Demathieu han publicado trabajos importantes sobre huellas del Triásico de otras partes del mundo.

El árbol genealógico de los dinosaurios y parientes próximos que elaboré durante mi trabajo para el grado de máster se publicó como «The Higher-Level Phylogeny of Archosauria», *Journal of Systematic Palaeontology* 8, n.º 1 (marzo de 2010), 3-47.

El capítulo se centra en las huellas de dinosauromorfos primitivos que estudié, y menciona solo de pasada los fósiles esqueléticos de estos animales. Existe un registro creciente de esqueletos pertenecientes a especies como *Silesaurus* (los «nuevos fósiles de reptiles intrigantes» encontrados en Silesia a los que se alude en el texto, estudiados por Jerzy Dzik, el «profesor polaco de larga experiencia»), *Lagerpeton*, *Marasuchus*, *Dromomeron* o *Asilisaurus*. Max Langer y otros colegas publicaron un estudio parcialmente técnico de estos animales en *Anatomy, Phylogeny, and Palaeobiology of Early Archosaurs and Their Kin*, págs. 157-186. *Nyasasaurus*, el intrigante animal que puede ser el dinosaurio más antiguo o un primo cercano sin más, fue descrito por Sterling Nesbitt y sus colaboradores en *Biology Letters* 9 (2012), n.º 20120949.

La biografía de Arthur Holmes (*The Dating Game: One Man's Search for the Age of the Earth*, Cambridge University Press, 2000) a cargo de Cherry Lewis es una buena introducción al concepto de datación radiométrica, la historia de su descubrimiento y de cómo se usa para datar rocas. El complicado tema de cómo fechar rocas del Triásico se discute en un relevante artículo de Claudia Marsicano, Randy Irmis y sus colaboradores (*Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2015, doi: 10.1073/pnas.1512541112).

Paul Sereno, Alfred Romer, José Bonaparte, Osvaldo Reig y Óscar Alcober han escrito, junto con otros colegas o alumnos, gran cantidad de artículos sobre los dinosaurios de Ischigualasto y los animales con los que convivían. La mejor fuente de información la constituye el informe de 2012 de la Sociedad de Paleontología de Vertebrados, *Basal Sauropodomorphs and the Vertebrate Fossil Record of the Ischigualasto Formation (Late Triassic: Carnian-Norian) of Argentina*, que incluye una recapitulación histórica de las expediciones a Ischigualasto y una detallada descripción anatómica de *Eoraptor*, ambas escritas por Sereno.

Dos avances interesantes se publicaron cuando este libro entraba en la imprenta. El primero consiste en que el herbívoro *Pisanosaurus* de Ischigualasto, que yo propongo como un miembro inicial del linaje de los dinosaurios ornitisquios, se reinterpretó y se clasificó como un dinosauromorfo no dinosaurio estrechamente emparentado con *Silesaurus* (F. L. Agnolin y S. Rozadilla, *Journal of Systematic Palaeontology*, <http://dx.doi.org/10.1080/14772019.2017.1352623>, 2017). De modo que es posible que no haya en la actualidad buenos fósiles de ornitisquios de todo el periodo Triásico. El segundo es que Matthew Baron, un estudiante de doctorado de Cambridge, y sus colegas publicaron un nuevo árbol filogenético de los dinosaurios, en el que situaban a terópodos y ornitisquios

en un grupo exclusivo de saurópodos (ornitoscélidos) (*Nature*, 2017, 543, 501-506). Se trata de una idea apasionante pero controvertida. Formé parte de un equipo dirigido por Max Langer que reevaluó el conjunto de datos de Baron *et al*. y argumentó en favor de la subdivisión más tradicional en ornitisquios y saurisquios (*Nature*, 2017, 551, E1-E3, doi:10.1038/nature24011). A buen seguro, este será un gran tema de debate durante muchos años.

2. Los dinosaurios prosperan

Hay varias revisiones en relación con el auge de los dinosaurios durante el Triásico. Yo escribí una con varios de mis colegas, entre ellos Sterling Nesbitt y Randy Irmis del Rat Pack: Brusatte *et al*., «The Origin and Early Radiation of Dinosaurs», *Earth-Science Reviews* 101, n.º 1-2 (julio de 2010), 68-100. Otras las han escrito Max Langer y otros colegas, en Langer *et al*., *Biological Reviews* 85 (2010), 55-110; Michael J. Benton *et al*., *Current Biology* 24, n.º 2 (enero de 2014), R87–R95; Langer, *Palaeontology* 57, n.º 3 (mayo de 2014), 469-478; Irmis, *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 101, n.º 3-4 (septiembre de 2010), 397-426, y Kevin Padian, *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 103, n.º 3-4 (septiembre de 2012), 423-442.

Dos libros excelentes y en parte técnicos sobre el periodo Triásico y el modo en que los dinosaurios encajaban en el «conjunto mayor de ecosistemas modernos» los ha escrito mi amigo de unas calles más abajo (el Museo Nacional de Escocia para ser más exactos) Nick Fraser. En 2006, Nick publicó *Dawn of the Dinosaurs: Life in the Triassic* (Indiana University

Press), y en 2010 se unió a Hans-Dieter Sues para escribir *Triassic Life on Land: The Great Transition* (Columbia University Press). Estos libros están profusamente ilustrados (el primero por el gran paleoartista Doug Henderson) y contienen referencias a gran parte de la literatura primaria más importante sobre la evolución de los vertebrados del Triásico. Los mejores mapas del antiguo Pangea —dibujados con meticulosidad sobre la base de muchas líneas de evidencia geológica con las que se pueden trazar antiguas líneas de costa y determinar las posiciones de los continentes hace millones de años— los han producido Ron Blakey y Christopher Scotese. Me he basado ampliamente en ellos para explicar la fragmentación de Pangea a lo largo de todo el libro.

Hemos publicado algunos artículos sobre nuestras excavaciones en Portugal, entre los que se incluyen una detallada descripción de los esqueletos de *Metoposaurus* encontrados en la fosa común, en Brusatte *et al*., *Journal of Vertebrate Paleontology* 35, n.º 3, artículo n.º e912988 (2015), 1-23, así como una descripción del fitosaurio que vivió con las «supersalamandras», en Octávio Mateus *et al*., *Journal of Vertebrate Paleontology* 34, n.º 4 (2014), 970-975. El estudiante de geología alemán que halló los primeros especímenes del Triásico en el Algarve fue Thomas Schroter, y el «oscuro» artículo que describía los fósiles lo escribieron Florian Witzmann y Thomas Gassner, *Alcheringa* 32, n.º 1 (marzo de 2008), 37-51.

El Rat Pack (Randy Irmis, Sterling Nesbitt, Nate Smith, Alan Turner y su equipo) ha publicado muchos artículos sobre los especímenes que han encontrado en Ghost Ranch, sobre el paleoambiente de la región y sobre cómo sus hallazgos encajan en el contexto global de la evolución de los dinosaurios del Triásico. Entre los más importantes se cuentan Nesbitt, Irmis y Parker, *Journal of Systematic Palaeontology* 5, n.º 2 (mayo de 2007), 209-

243; Irmis *et al*., *Science* 317, n.º 5836 (20 de julio de 2007), 358-361; Jessica H. Whiteside *et al*., *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 112, n.º 26 (30 de junio de 2015), 7909-7913. Edwin Colbert describió exhaustivamente los esqueletos de *Coelophysis* de Ghost Ranch en su monografía de 1989 *The Triassic Dinosaur Coelophysis*, *Museum of Northern Arizona Bulletin*, n.º 57, y ha contado el relato de su descubrimiento en varios de sus fascinantes libros de divulgación sobre los dinosaurios. El artículo de Martin Ezcurra sobre *Eucoelophysis* se publicó en *Geodiversitas* 28, n.º 4, 649-684. Sterling Nesbitt describió *Effigia* en un breve artículo en *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, vol. 273 (2006), 1045-1048, y posteriormente como una monografía en el *Bulletin of the American Museum of Natural History* 302 (2007), 1-84.

Mi trabajo sobre la disparidad morfológica de los dinosaurios y pseudosuquios del Triásico se publicó en dos artículos: Brusatte *et al*., «Superiority, Competition, and Opportunism in the Evolutionary Radiation of Dinosaurs», *Science* 321, n.º 5895 (12 de septiembre de 2008), 1485-88; Brusatte *et al*., «The First 50 Myr of Dinosaur Evolution», *Biology Letters* 4, 733-736. Estos artículos están escritos conjuntamente con Mike Benton, Marcello Ruta y Graeme Lloyd, mis directores del máster de ciencias en la Universidad de Bristol, que son algunos de los colegas en los que más confío en el área en la actualidad. Las publicaciones que me inspiraron, escritas por Bakker y Charig, se citan y se comentan en estos artículos. Muchos paleontólogos de invertebrados ayudaron a desarrollar los métodos estándares de disparidad morfológica, en especial Mike Foote (que era uno de los profesores de mi institución como estudiante de grado, la Universidad de Chicago, pero con quien lamentablemente no tuve la oportunidad de seguir ningún curso) y Matt Wills, cuyos artículos también he citado ampliamente en mi trabajo.

El nombre de Mike Benton aparece mucho en esta sección. He hablado menos de él en el texto principal que de mis otros dos directores académicos, Paul Sereno y Mark Norell, probablemente porque estuve en Bristol un tiempo demasiado breve como para acumular el tipo de relatos excitantes que encajaban en el estilo que he elegido para esta narración. Pero es injusto para Mike. Él es una superestrella científica cuyos estudios de la evolución de los vertebrados y cuyos famosos manuales (en particular *Vertebrate Palaeontology*, que ha visto varias ediciones en Wiley-Blackwell, la más reciente en 2014) han marcado el ritmo de todo el campo de la paleontología de los vertebrados durante décadas. Pero, a pesar de la gran consideración que se le tiene, es un hombre humilde, al que se tiene en gran estima por haber sido un director provechoso para docenas de estudiantes de posgrado.

3. Los dinosaurios se hacen dominantes

Los libros *Dawn of the Dinosaurs: Life in the Triassic* y *Triassic Life on Land: The Great Transition*, ambos citados más arriba, en las notas al capítulo 2, proporcionan resúmenes excelentes de la extinción al final del Triásico. Asimismo, algunos de los temas de este capítulo también se tratan en los artículos de revisión por pares sobre la evolución temprana de los dinosaurios empleados como fuentes para el capítulo 2.

La lava que brotó a chorros al final del Triásico dio lugar a una enorme cantidad de rocas basálticas (entre ellas el risco de las Palisades de New Jersey), que en la actualidad cubren partes de cuatro continentes. El conjunto recibe el nombre de Provincia Magmática del Atlántico Central (CAMP por sus siglas en inglés), y la han descrito adecuadamente Marzoli y sus colaboradores en *Science* 284, n.º 5414 (23 de abril de 1999), 616-618. La

época de las erupciones de la CAMP la han estudiado Blackburn y otros colegas, entre ellos Paul Olsen, en *Science* 340, n.º 6135 (24 de mayo de 2013), 941-945, cuyo trabajo demuestra que las erupciones tuvieron lugar en cuatro grandes pulsos a lo largo de seiscientos mil años. Jessica Whiteside, nuestra amiga de Portugal y Ghost Ranch, ha demostrado que las extinciones en tierra y en el mar tuvieron lugar en la misma época al final del Triásico, y que los primeros atisbos de la extinción son síncronos con los primeros flujos de lava en Marruecos. Véase *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107, n.º 15 (13 de abril de 2010), 6721-6725. Paul Olsen también tomó parte en esta investigación, pues era el director de doctorado de Whiteside en la Universidad de Columbia.

Los cambios del dióxido de carbono atmosférico, la temperatura global y las comunidades vegetales en el límite Triásico-Jurásico han sido estudiados, entre otros, por Jennifer McElwain y sus colaboradores en *Science* 285, n.º 5432 (27 de agosto de 1999), 1386-1390, y en *Paleobiology* 33, n.º 4 (diciembre de 2007), 547-573; por Claire M. Belcher *et al*., en *Nature Geoscience* 3 (2010), 426-429; por Margret Steinthorsdottir *et al*., en *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 308 (2011), 418-432; por Micha Ruhl y otros colegas, *Science* 333, n.º 6041 (22 de julio de 2011), 430-434, y por Nina R. Bonis y Wolfram M. Kurschner, en *Paleobiology* 38, n.º 2 (marzo de 2012), 240-264.

Paul Olsen ha estado publicando sobre las cuencas de rift y los fósiles del este de Estados Unidos desde pocos años después de sus travesuras de adolescente. Ha escrito dos resúmenes técnicos del sistema de cuencas del rift de Pangea que los geólogos denominan «supergrupo Newark», ambos con Peter LeTourneau, *The Great Rift Valleys of Pangea in Eastern North America*, vols. 1-2 (Columbia University Press, 2003), así como un artículo de revisión por pares muy útil sobre el tema en la *Annual Review of Earth*

and Planetary Sciences 25 (mayo de 1997), 337-401. En 2002, Olsen publicó un artículo importante que resumía sus años de trabajo con las huellas, en el que presentaba evidencias de la rápida radiación de los dinosaurios después de la extinción del final del Triásico: *Science* 296, n.º 5571 (17 de mayo de 2002), 1305-1307.

Existe una enorme literatura sobre dinosaurios saurópodos. Uno de los mejores libros técnicos sobre estas criaturas icónicas lo editaron Kristina Curry Rogers y Jeff Wilson, *The Sauropods: Evolution and Paleobiology* (University of California Press, 2005). Paul Upchurch, Paul Barrett y Peter Dodson escribieron un buen resumen técnico para la segunda edición de la enciclopedia académica clásica sobre dinosaurios, *The Dinosauria* (University of California Press, 2004), y yo mismo escribí una descripción menos técnica del grupo en mi manual de 2012, *Dinosaur Paleobiology* (Hoboken, Wiley-Blackwell). Mis colegas de los inicios de mi carrera Phil Mannion y Mike D'Emic han estado realizando una gran cantidad de trabajo descriptivo de una calidad excelente sobre saurópodos, junto con sus directores, Upchurch, Barrett y Wilson.

Describimos las pistas de dinosaurios saurópodos que encontramos en Skye en 2016, en Brusatte *et al*., *Scottish Journal of Geology* 52, 1-9. Algunos de los registros fragmentarios más antiguos de saurópodos escoceses los presentaron mis colegas de Glasgow Neil Clark y Dugie Ross en el *Scottish Journal of Geology* 31 (1995), 171-176; mi incomparable camarada y nacionalista escocés Jeff Liston, en el *Scottish Journal of Geology* 40, n.º 2 (2004), 119-122, y Paul Barrett, en *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 97, 25-29.

Hay numerosos estudios dedicados a calcular el peso corporal de los dinosaurios. J. F. Anderson y sus colaboradores fueron los primeros en reconocer la relación entre el grosor de los huesos largos (técnicamente, la

circunferencia) y el peso corporal (técnicamente, la masa) en animales modernos y extintos, en *Journal of Zoology* 207, n.º 1 (septiembre de 1985), 53-61. Nic Campione, David Evans y otros colegas han refinado este enfoque en trabajos más recientes, *BMC Biology* 10 (2012), 60, y *Methods in Ecology and Evolution* 5 (2014), 913-923. Estos métodos los han usado Roger Benson y sus coautores para estimar la masa de casi todos los dinosaurios, *PLoS Biology* 12, n.º 5 (mayo de 2014), e1001853.

El método basado en la fotogrametría para estimar la masa tuvo a su pionero en Karl Bates y sus directores de doctorado Bill Sellers y Phil Manning, en *PLoS ONE* 4, n.º 2 (febrero de 2009), e4532, y desde entonces se ha ampliado en varias publicaciones, entre ellas Sellers *et al*., *Biology Letters* 8 (2012), 842-845; Brassey *et al*., *Biology Letters* 11 (2014), 20140984, y Bates *et al*., *Biology Letters* 11 (2015), 20150215. Peter Falkingham ha publicado un manual básico sobre cómo obtener datos fotogramétricos en *Palaeontologica Electronica* 15 (2012), 15.1.1T. Un trabajo sobre saurópodos en el que tomé parte, dirigido por Karl, Peter y Viv Allen, se publicó en *Royal Society Open Science* 3 (2016), 150636.

Hay que señalar que ambos métodos (ecuaciones basadas en la circunferencia de los huesos largos y modelos fotogramétricos) tienen márgenes de error, que se vuelven mayores cuanto más grande es el dinosaurio, en particular porque los métodos no pueden validarse en animales modernos que se acerquen siquiera al tamaño de los saurópodos. Las publicaciones originales citadas más arriba discuten extensamente estos márgenes de error y, en muchos casos, presentan una gama de masas corporales plausibles para cada especie de dinosaurio, teniendo en cuenta la incertidumbre conocida.

La biología y la evolución de los saurópodos son los temas de una fascinante colección de artículos de investigación que se han reunido en el

libro *Biology of the Sauropod Dinosaurs: Understanding the Life of Giants*, Nicole Klein y Kristian Remes, eds., Indiana University Press, 2011. Un capítulo, escrito por Oliver Rauhut y otros colegas, discute en detalle la evolución del plan corporal de los saurópodos; cómo fueron apareciendo los rasgos característicos del grupo a lo largo de millones de años. La pregunta de por qué los saurópodos pudieron llegar a ser tan grandes se abordaba recientemente, en un artículo de revisión por pares excelente y accesible sobre la biología de los saurópodos, en *Biological Reviews* 86 (2011), 117-155, escrito por Martin Sander y un equipo de investigadores que han estudiado este misterio durante muchos años, con la financiación de una generosa ayuda a la investigación alemana.

4. Dinosaurios y continentes a la deriva

Para información sobre el mural de Zallinger, consúltese *House of Lost Worlds: Dinosaurs, Dynasties, and the Story of Life on Earth* (Yale University Press, 2016), de Richard Conniff, o *The Age of Reptiles: The Art and Science of Rudolph Zallinger's Great Dinosaur Mural at Yale* (Yale Peabody Museum, 2010), de Rosemary Volpe. Aún mejor es ir a ver el mural en el Museo Peabody si se tiene la oportunidad. Es una obra de arte impresionante.

Hay muchos relatos populares de la guerra de los Huesos entre Cope y Marsh; para una versión académica y objetiva, recomiendo el excelente libro de John Foster *Jurassic West: The Dinosaurs of the Morrison Formation and Their World* (Indiana University Press, 2007). Foster ha pasado décadas excavando yacimientos de dinosaurios por todo el oeste de Estados Unidos, y su libro es un resumen experto de los dinosaurios de Morrison, del mundo en

el que vivieron y de la historia de su descubrimiento. El libro es la fuente primaria de la información histórica contenida en este capítulo; cita numerosas fuentes originales, entre ellas varios artículos científicos que Cope y Marsh publicaron durante su contienda hiperactiva.

El relato de *Big Al* se basa en un informe del paleontólogo Brent Breithaupt, antaño en la Universidad de Wyoming y ahora en la Oficina de Gestión del Territorio (BLM), escrito para el Servicio Nacional de Parques y publicado como «The Case of 'Big Al' the *Allosaurus*: A Study in Paleodetective Partnerships», en V. L. Santucci y L. McClelland, eds., *Proceedings of the 6th Fossil Resource Conference*, National Park Service, 2001, 95-106.

Se han publicado estudios interesantes sobre el tamaño corporal (Bates *et al*., *Palaeontologica Electronica*, 2009, 12, 3.14A) y las patologías (Hanna, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2002, 22, 76-90) de *Big Al*, y el estudio de la alimentación de un modelo informático de *Allosaurus* al que me refiero lo publicaron Emily Rayfield y otros colegas (*Nature*, 2001, 409, 1033-1037). La información sobre Kirby Siber se ha extraído de un perfil en *Rocks & Minerals Magazine*, escrito por John S. White (2015, 90, 56-61). Para una opinión equilibrada sobre el tema de la búsqueda comercial de fósiles y la venta de restos de dinosaurios, el artículo de Heather Pringle en *Science* (2014, 343, 364-367) es un buen comienzo.

Hay muchos artículos científicos importantes sobre los saurópodos de la formación Morrison. El mejor lugar para empezar es el capítulo sobre saurópodos del manual académico *The Dinosauria*, escrito por los expertos en saurópodos Paul Upchurch, Paul Barrett y Peter Dodson (University of California Press, 2004). A lo largo de las dos últimas décadas, ha habido un debate considerable sobre cómo se sostenía el cuello de los saurópodos, que he resumido en mi manual *Dinosaur Paleobiology*, con citas a la literatura

relevante, gran parte de la cual la han escrito Kent Stevens y Michael Parrish. También se han hecho muchos trabajos sobre los hábitos alimentarios de los saurópodos, y algunos de los artículos más importantes son de Upchurch y Barrett. Estos se comentan y resumen tanto en mi manual como en el artículo de 2011 de Sander *et al*. que se cita al final de las notas del capítulo 3. Más recientemente, Upchurch, Barrett, Emily Rayfield y sus alumnos de doctorado David Button y Mark Young han realizado trabajos revolucionarios de modelos informáticos dedicados a comprender cómo comían los diferentes saurópodos (Young *et al*., *Naturwissenschaften*, 2012, 99, 637-643; Button *et al*., *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 2014, 281, 20142144).

Los capítulos de *The Dinosauria* son una buena fuente de información sobre los dinosaurios del Jurásico tardío de otros continentes. Los de Portugal, ahora famosos, los ha estudiado con amplitud Octávio Mateus, mi amigo y compañero de excavación del lecho de huesos de la «supersalamandra» que vimos anteriormente. Para una revisión, véase Antunes y Mateus, *Comptes Rendus Palevol* 2, 2003, 77-95. Los dinosaurios del Jurásico tardío de Tanzania fueron excavados durante una serie de notables campañas alemanas en los primeros años de la década de 1900, que se describen en el detallado relato histórico recogido en el libro de Gerhard Maier *African Dinosaurs Unearthed: The Tendaguru Expeditions* (Indiana University Press, 2003).

Mi fuente principal para los cambios que tuvieron lugar a través del límite Jurásico-Cretácico es un excelente artículo de revisión por pares de Jonathan Tennant y otros (*Biological Reviews*, 2017, 92, 776-814). Fui uno de los revisores de este artículo, y de los cientos de manuscritos que he revisado, este puede ser del que más he aprendido. Jon hizo este trabajo cuando preparaba su doctorado en Londres. Los asiduos de Internet lo reconocerán

como un tuitero prolífico y un apasionado comunicador de ciencia en blogs y redes sociales.

Se han hecho muchas semblanzas de Paul Sereno en libros, revistas y periódicos. Algunas las escribí yo mismo en los últimos años de la década de los noventa y en los primeros de la de 2000, en mis días de *fanboy*, pero no daré los detalles aquí, solo para hacerle un poco más difícil la búsqueda a quien quiera encontrar estas embarazosas excusas para hacer periodismo. Es probable que algún día (¡así lo espero!), Paul escriba su propia historia, pero, mientras tanto, hay información extensa sobre sus expediciones y descubrimientos en la página web de su laboratorio (<paulsereno.org>). Algunos de sus descubrimientos africanos más importantes incluyen los siguientes, con citas breves a los artículos científicos relevantes entre paréntesis: *Afrovenator* (*Science*, 1994, 266, 267-270); *Carcharodontosaurus saharicus* y *Deltadromeus* (*Science*, 1996, 272, 986-991); *Suchomimus* (*Science*, 1998, 282, 1298-1302); *Jobaria* y *Nigersaurus* (*Science*, 1999, 286, 1342-1347); *Sarcosuchus* (*Science*, 2001, 294, 1516-1519); *Rugops* (*Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 2004, 271, 1325-1330). Paul y yo describimos conjuntamente *Carcharodontosaurus iguidensis* en 2007 (Brusatte y Sereno, *Journal of Vertebrate Paleontology* 27, 902-916) y *Eocarcharia* un año después (Sereno y Brusatte, *Acta Palaeontologica Polonica*, 2008, 53, 15-46).

Existe una abundantísima literatura de manuales y guías prácticas sobre la confección de árboles genealógicos o filogenias mediante la cladística. La teoría que subyace a estos métodos la desarrolló el entomólogo alemán Willi Hennig, quien esbozó sus ideas en un artículo (*Annual Review of Entomology*, 1965, 10, 97-116) y en un libro fundamental, *Phylogenetic Systematics* (University of Illinois Press, 1966). [Hay trad. cast.: *Elementos de una sistemática filogenética*, Buenos Aires, Eudeba, 1968.] Estas obras

pueden ser bastante densas, pero son más accesibles los manuales de Ian Kitching *et al*. (*Cladistics: The Theory and Practice of Parsimony Analysis*, Systematics Association, Londres, 1998), Joseph Felsenstein (*Inferring Phylogenies*, Sinauer Associates, 2003) o Randall Schuh y Andrew Brower (*Biological Systematics: Principles and Applications*, Cornell University Press, 2009). Yo también doy una explicación general, empleando a los dinosaurios como ejemplo, en el capítulo sobre filogenia de mi manual *Dinosaur Paleobiology*.

Publiqué el árbol genealógico de los carcarodontosáuridos y sus parientes alosaurios en 2008, en un artículo escrito junto con Paul Sereno (*Journal of Systematic Palaeontology* 6, 155-82). Publiqué una versión actualizada al año siguiente, cuando me uní a otros colegas para dar nombre y describir al primer carcarodontosáurido asiático, *Shaochilong* (Brusatte *et al*., *Naturwissenschaften*, 2009, 96, 1051-58). Uno de los coautores de dicho artículo fue Roger Benson, quien, como yo, era estudiante en aquella época. Roger y yo nos hicimos amigos íntimos, visitamos juntos muchos museos (inclusive en un viaje increíble a China en 2007) y colaboramos en varios proyectos de investigación sobre carcarodontosáuridos y otros alosaurios, entre ellos una descripción monográfica del carcarodontosáurido inglés *Neovenator* (Brusatte, Benson y Hutt, *Monograph of the Palaeontographical Society*, 2008, 162, 1-166). Roger me invitó a participar en un estudio posterior de la filogenia de los carcarodontosáuridos/alosaurios/terópodos, en el que él hizo la inmensa mayoría del trabajo (Benson *et al*., *Naturwissenschaften*, 2010, 97, 71-78).

5. Los dinosaurios tiranos

Este capítulo es en parte una versión ampliada de un artículo que escribí para el número de *Scientific American* de mayo de 2015 (312, 34-41) [Hay trad. cast.: «Orígenes de los tiranosaurios», *Investigación y ciencia*, 2015, 466, 16-23], sobre la evolución de los tiranosaurios. Se inspiraba a su vez en un artículo de revisión por pares sobre la genealogía y la evolución de los tiranosaurios que publiqué con varios colegas en 2010 (Brusatte *et al*., *Science*, 329, 1481-1485). Ambos son buenas fuentes generales de información sobre los tiranosaurios, como lo es el capítulo de Thomas Holtz del manual académico *The Dinosauria* (University of California Press, 2004).

Junchang Lü y yo describimos *Qianzhousaurus sinensis* (Pinocho Rex) en un artículo en 2014 (Lü *et al*., *Nature Communications* 5, 3788). El relato de este descubrimiento lo contó Didi Kirsten Tatlow en un artículo en *The New York Times* (<sinosphere.blogs.nytimes.com/2014/05/08/pinocchio-rex-chinas-new-dinosaur>). El «extraño tiranosaurio» *Alioramus* a cuyo estudio me dediqué, por el que Junchang me llegó a pedir que lo ayudara con *Qianzhousaurus*, se describió en los artículos siguientes: Brusatte *et al*., *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106 (2009), 17261-17266; Bever *et al*., *PLoS ONE* 6, n.º 8 (agosto de 2011), e23393; Brusatte *et al*., *Bulletin of the American Museum of Natural History* 366 (2012), 1-197; Bever *et al*., *Bulletin of the American Museum of Natural History* 376 (2013), 1-72; Gold *et al*., *American Museum Novitates* 3790 (2013), 1-46.

Durante casi una década, he estado estudiando la genealogía de los tiranosaurios y confeccionando árboles genealógicos cada vez mayores, a medida que se iban encontrando nuevos fósiles de tiranosaurios, un trabajo realizado en colaboración con mi buen amigo y colega Thomas Carr del Carthage College, de Kenosha, en Wisconsin. Publicamos la primera versión del árbol genealógico en el artículo de revisión por pares de *Science* de 2010 mencionado arriba. En 2016, publicamos una versión completamente

renovada (Brusatte y Carr, *Scientific Reports* 6, 20252), marco para la discusión sobre la evolución en este capítulo.

El descubrimiento de *T. rex* se ha recogido en muchos textos, tanto divulgativos como científicos. La mejor fuente de información sobre Barnum Brown y su gran descubrimiento es una biografía de Brown que Lowell Dingus y Mark Norell, director de mi tesis doctoral, publicaron en 2011 (*Barnum Brown: The Man Who Discovered Tyrannosaurus Rex*, University of California Press). La cita de Lowell que uso en el capítulo procede de una página web del Museo Americano de Historia Natural dedicada al libro. Existe una excelente biografía de Henry Fairfield Osborn escrita por Brian Rangel, a la que recurrí para informarme sobre su vida (*Henry Fairfield Osborn: Race and the Search for the Origins of Man*, Ashgate Publishing, Burlington, 2002).

Sasha Averianov describió *Kileskus* en un artículo de 2010 (Averianov *et al*., *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 314, 42-57). Xu Xing y otros colegas describieron *Dilong* en 2004 (Xu *et al*., *Nature* 431, 680-684), *Guanlong* en 2006 (Xu *et al*., *Nature* 439, 715-718) y *Yutyrannus* in 2012 (Xu *et al*., *Nature* 484, 92-95). La descripción de *Sinotyrannus* la escribieron Ji Qiang y otros colegas (Ji *et al*., *Geological Bulletin of China*, 2009, 28, 1369-74). Roger Benson y yo dimos nombre a *Juratyrant* (Brusatte y Benson, *Acta Palaeontologica Polonica*, 2013, 58, 47-54), sobre la base de un espécimen que Roger había descrito unos años antes (Benson, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2008, 28, 732-50). *Eotyrannus*, de la bella isla de Wight, en Inglaterra, fue bautizado y descrito por Steve Hutt y otros colegas (Hutt *et al*., *Cretaceous Research*, 2001, 22, 227-242).

El artículo en el que dábamos nombre y describíamos a *Timurlengia*, del Cretácico medio de Uzbekistán, se publicó en 2016 (Brusatte *et al*., *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 113, 3447-52). A

Sasha, Hans y a mí se unieron mi alumno de máster Amy Muir (que procesó los datos del TAC) y Ian Butler (colega del claustro de la Universidad de Edimburgo, que hizo el escáner que utilizamos para estudiar el fósil). Para más información sobre los carcarodontosaurios que aún resistían a los tiranosaurios durante el Cretácico medio, pueden comprobarse los artículos que describen *Siats* (Zanno y Makovicky, *Nature Communications*, 2013, 4, 2827), *Chilantaisaurus* (Benson y Xu, *Geological Magazine*, 2008, 145, 778-789), *Shaochilong* (Brusatte *et al*., *Naturwissenschaften*, 2009, 96, 1051-1058) y *Aerosteon* (Sereno et al., *PLoS ONE*, 2008, 3, n.º 9, e3303).

6. El rey de los dinosaurios

Desde luego, el relato con el que abro el capítulo es conjetural, pero los detalles se basan en descubrimientos reales de fósiles (que se describen más avanzado el capítulo y cuyas referencias se dan más abajo), con una dosis de especulación sobre cómo se hubieran comportado *Tyrannosaurus rex*, *Triceratops* y los dinosaurios de pico de pato.

Para el marco general de *T. rex* (tamaño, características corporales, hábitat y edad), pueden consultarse las referencias generales a los tiranosaurios que han citado para el capítulo previo. Las estimas de la masa corporal proceden del artículo citado previamente de Roger Benson y sus colegas sobre la evolución del tamaño de los dinosaurios.

Hay muchísima literatura sobre los hábitos alimentarios de *T. rex*. La información sobre la ingesta diaria de alimento procede de dos artículos importantes sobre el tema, uno escrito por James Farlow (*Ecology*, 1976, 57, 841-857) y el otro por Reese Barrick y William Showers (*Palaeontologia Electronica*, 1999, vol. 2, n.º 2). La idea de que *T. rex* era un carroñero

aparece de tanto en cuanto en la prensa, algo fastidioso en extremo para muchos paleontólogos de dinosaurios (en especial para mí), pero ha sido totalmente desacreditada por uno de los expertos en dinosaurios más informado y entusiasta que existen, Thomas Holtz, en *Tyrannosaurus rex: The Tyrant King* (Indiana University Press, 2008). Los huesos fósiles de *Edmontosaurus* con un diente de *T. rex* incrustado los describió un equipo dirigido por Robert DePalma (*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110, 12560-12564). El famoso excremento de tiranosaurio lleno de huesos fue descrito por Karen Chin y sus colegas (*Nature*, 1998, 393, 680-682), y los contenidos estomacales óseos fueron descritos por David Varricchio (*Journal of Paleontology*, 2001, 75, 401-406).

La alimentación mediante perforación y tirón de los tiranosaurios ha sido estudiada en detalle por Greg Erickson y su equipo, que han publicado varios artículos importantes sobre el tema (por ejemplo, Erickson y Olson, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 1996, 16, 175-178, o Erickson *et al*., *Nature*, 1996, 382, 706-708). Otros estudios importantes son los de Mason Meers (*Historical Biology*, 2002, 16, 1-2), Francois Therrien y otros (*The Carnivorous Dinosaurs*, Indiana University Press, 2005), y Karl Bates y Peter Falkingham (*Biology Letters*, 2012, 8, 660-664). Las publicaciones más destacadas de Emily Rayfield sobre la estructura del cráneo y el mecanismo de la mordida de los tiranosaurios fueron dos artículos publicados a mediados de la década de 2000 (*Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 2004, 271, 1451-1459; *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2005, 144, 309-316). Esta autora ha escrito también una introducción muy útil al análisis de elementos finitos (*Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, 35, 541-576).

John Hutchinson y sus colaboradores han escrito muchos artículos de investigación sobre la locomoción de los tiranosaurios, los principales en

Nature (2002, 415, 1018-1021), *Paleobiology* (2005, 31, 676-701), *Journal of Theoretical Biology* (2007, 246, 660-680), y *PLoS ONE* (2011, 6, n.º 10, e26037). A partir de su trabajo con Matthew Carrano, John publicó un estudio importante sobre la musculatura pélvica y de las patas posteriores de *T. rex* (*Journal of Morphology*, 2002, 253, 207-228). También ha escrito una introducción general a los estudios de la locomoción de los dinosaurios (en la *Encyclopedia of Life Sciences*, Wiley-Blackwell, 2005), pero sus mejores textos en realidad se encuentran en su siempre entretenido blog (<https://whatsinjohnsfreezer.com/>).

El eficiente pulmón de las aves modernas y el modo en que funciona se describen con más detalle en mi libro *Dinosaur Paleobiology*. Existen asimismo unos pocos artículos especializados sobre el tema que vale la pena examinar (por ejemplo, Brown *et al*., *Environmental Health Perspectives*, 1997, 105, 188-200, y Maina, *Anatomical Record*, 2000, 261, 25-44). La evidencia fosilizada de sacos aéreos en huesos de dinosaurios (algo a lo que técnicamente nos referimos como neumaticidad) fue estudiada de manera experta por Brooks Britt durante su trabajo de doctorado (Britt, 1993, tesis, doctoral, Universidad de Calgary). En fecha más reciente, Patrick O'Connor y sus colegas han presentado un trabajo importante sobre el tema (*Journal of Morphology*, 2004, 261, 141-61; *Nature*, 2005, 436, 253-256; *Journal of Morphology*, 2006, 267, 1199-1226; *Journal of Experimental Zoology*, 2009, 311A, 629-646), y también Roger Benson y colaboradores (*Biological Reviews*, 2012, 87, 168-193) y Mathew Wedel (*Paleobiology*, 2003, 29, 243-255; *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2003, 23, 344-357).

La investigación de Sara Burch sobre los brazos de los tiranosaurios se describe en su tesis doctoral (Universidad de Stony Brook, 2013) y se ha presentado en las reuniones anuales de la Sociedad de Paleontología de los Vertebrados. Ahora está a la espera de su publicación completa.

Phil Currie y su equipo han escrito varios artículos sobre la fosa común de *Albertosaurus*, que ocupó un número especial del *Canadian Journal of Earth Sciences* (2010, vol. 47, n.º 9). El trabajo de Phil sobre la caza en manada en *Albertosaurus* y *Tarbosaurus* se describe en un libro de divulgación de Josh Young, que tiene el provocativo título de *Dinosaur Gangs* (Collins, 2011).

Ha habido una inundación de estudios que emplean el TAC para comprender el cerebro de los dinosaurios. Hay un par de fantásticas recapitulaciones sobre el tema (guías prácticas, si se quiere) escritas por Carlson *et al*. (*Geological Society of London Special Publication*, 2003, 215, 7-22) y Larry Witmer y otros colegas (*Anatomical Imaging: Towards a New Morphology*, Springer-Verlag, 2008). Los estudios más importantes de TAC de tiranosaurios son de Chris Brochu (*Journal of Vertebrate Paleontology*, 2000, 20, 1-6), de Witmer y Ryan Ridgely (*Anatomical Record*, 2009, 292, 1266-1296), y de Amy Balanoff, Gabe Bever y un equipo de colaboradores (del que formo parte) en *PLoS ONE* 6 (2011), e23393, y en *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2013, 376, 1-72. Ian Butler y yo publicamos nuestro primer trazado sobre la evolución del cerebro de los tiranosaurios como parte de la descripción del nuevo tiranosaurio *Timurlengia*, comentada para el capítulo anterior. El estudio de Darla Zelenitsky de la evolución del bulbo olfativo se publicó en 2009 (*Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 276, 667-673). Kent Stevens tiene publicaciones sobre la visión binocular en los tiranosaurios (*Journal of Vertebrate Paleontology*, 2003, 26, 321-330).

En parte del trabajo reciente más interesante sobre los tiranosaurios (y de los dinosaurios de forma general), se recurre a la histología de los huesos para comprender cómo crecieron. Recomiendo dos sumarios muy asequibles sobre el tema: un artículo breve escrito por Greg Erickson (*Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20, 677-684), y el tratado en forma de libro de Anusuya

Chinsamy-Turan (*The Microstructure of Dinosaur Bone*, Johns Hopkins University Press, 2005). El artículo fundamental de Greg sobre el crecimiento de los tiranosaurios se publicó en *Nature* en 2004 (430, 772-775). Otro estudio importante sobre el tema lo presentaron Jack Horner y Kevin Padian (*Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 2004, 271, 1875-1880), y, más recientemente, el brillante polímata Nathan Myhrvold (doctor en física, antiguo directivo jefe de tecnología en Microsoft, inventor frecuente, chef notable y autor del aclamado libro *Modernist Cuisine*, además de paleontólogo de dinosaurios en su tiempo libre) escribió un artículo clarificador sobre el uso, y a veces el mal uso, de las técnicas estadísticas para calcular las tasas de crecimiento de los dinosaurios (*PLoS ONE*, 2013, 8, nº 12, e81917).

Thomas Carr ha escrito varios artículos sobre cómo *T. rex* y otros tiranosaurios iban cambiando a medida que crecían, de los que los más importantes se han publicado en el *Journal of Vertebrate Paleontology* (1999, 19, 497-520) y en el *Zoological Journal of the Linnean Society* (2004, 142, 479-523).

7. Los dinosaurios en la cumbre de su éxito

Admito que mi caracterización del Cretácico tardío como el apogeo del éxito de los dinosaurios es un poco subjetiva, y algunos de mis colegas pueden tener algo que objetar a alguna de mis afirmaciones. Todo se reduce a la dificultad de medir la diversidad en el registro fósil, siempre sujeta a diversos sesgos, muchos de las cuales no entendemos. Se han realizado varios estudios sobre la diversidad de los dinosaurios, entre ellos algunos en los que se emplean métodos estadísticos para estimar el número total de dinosaurios que

ha habido a lo largo del tiempo. No siempre concuerdan en los detalles, pero sí que lo hacen en el marco general, el de que la diversidad de los dinosaurios fue elevada por lo general, en términos del número de especies registradas o estimadas, en el Cretácico tardío. Incluso si no fue el máximo absoluto, es probable que no estuviera muy lejos de este. Mis colegas y yo empleamos diferentes métodos estadísticos para computar la diversidad de los dinosaurios a lo largo del Cretácico (Brusatte *et al*., *Biological Reviews*, 2015, 90, 628-642), y encontramos que los dinosaurios del tardío se hallaban cerca del máximo del periodo en riqueza de especies o coincidían con él. Otros estudios importantes sobre la diversidad de los dinosaurios a lo largo del tiempo los han publicado Barrett *et al*. (*Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 2009, 276, 2667-2674); Upchurch *et al*. (*Geological Society of London Special Publication*, 2011, 358, 209-240); Wang y Dodson (*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006, 103, 601-605), y Starrfelt y Liow (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*, 2016, 371, 20150219).

Puede encontrarse información sobre la historia del Museo Burpee en su página web, <http://www.burpee.org>. Jane, el joven *T. rex* descubierto por el museo, está siendo estudiado en la actualidad por un equipo dirigido por Thomas Carr. Todavía no se ha publicado una descripción completa, pero el fósil ha sido el tema de muchas de las conferencias de la Sociedad de Paleontología de los Vertebrados.

Hay muchísima información sobre la formación de Hell Creek. Un trabajo básico y accesible es un artículo de revisión de David Fastovsky y Antoine Bercovici (*Cretaceous Research*, 2016, 57, 368-390). Si el lector quiere más detalle, la Sociedad Geológica de América ha publicado dos volúmenes especiales sobre Hell Creek (Hartman *et al*., 2002, 361, 1-520, y Wilson *et al*., 2014, 503, 1-392). Lowell Dingus ha escrito también un libro popular

sobre Hell Creek y sus dinosaurios (*Hell Creek, Montana: America's Key to the Prehistoric Past*, St. Martin's Press, 2004). Ha habido dos recapitulaciones importantes sobre los dinosaurios de Hell Creek, de los cuales he extraído los porcentajes de las diferentes especies en el ecosistema. El primero consiste en una serie de artículos, publicados bajo la dirección de Peter Sheehan y Fastovsky, de los que dos son particularmente importantes (Sheehan *et al*., *Science*, 1991, 254, 835-839, y White *et al*., *Palaios*, 1998, 13, 41-51). El segundo lo llevaron a cabo, más recientemente, Jack Horner y sus colegas (Horner *et al*., *PLoS ONE*, 2011, 6, n.º 2, e16574).

Una de las mejores fuentes de información sobre *Triceratops*, y los ceratópsidos en general, es el libro parcialmente técnico de Peter Dodson *The Horned Dinosaurs* (Princeton University Press, 1996). Un repaso más especializado a estos animales puede encontrarse en el capítulo escrito por Dodson, junto a Cathy Forster y Scott Sampson, en *The Dinosauria* (University of California Press, 2004). Asimismo, una fuente primaria de información sobre los hadrosaurios de pico de pato es el capítulo de Horner, David Weishampel y Forster en *The Dinosauria*, junto con un libro técnico reciente que incluye varios artículos sobre el grupo (Eberth y Evans, eds., *Hadrosaurs*, Indiana University Press, 2015). También hay un capítulo sobre los paquicefalosaurios de cabeza abovedada en *The Dinosauria*, escrito por Teresa Maryańska y otros colegas, que es una buena introducción a este estrafalario grupo.

Formé parte del equipo que describió el descubrimiento de Homer —en el primer lecho óseo correspondiente a *Triceratops*— en la literatura científica. El artículo lo firmaba en primer lugar Josh Mathews, uno de mis colegas entre los estudiantes voluntarios de la campaña de 2005, e incluía también a Mike Henderson y a Scott Williams como coautores (*Journal of Vertebrate Paleontology*, 2009, 29, 286-290). En el texto comentábamos y citábamos

algunos otros lechos óseos de ceratópsidos que se habían encontrado previamente. Una buena revisión de este tipo de yacimientos, en la que se citan varios artículos importantes, la escribió David Eberth (*Canadian Journal of Earth Sciences*, 2015, 52, 655-681). El lecho óseo de *Centrosaurus* se describió en un capítulo del libro *New Perspectives on Horned Dinosaurs* (Indiana University Press, 2007) del que Eberth era coautor.

La mejor referencia general sobre los dinosaurios del Cretácico tardío de Sudamérica —y de los continentes australes en general— es el libro de Fernando Novas *The Age of Dinosaurs in South America* (Indiana University Press, 2009). Roberto Candeiro ha escrito muchos artículos especializados sobre los dinosaurios de Brasil, y entre sus trabajos más importantes sobre dientes de terópodos se encuentran su tesis doctoral, de 2007 (Universidad Federal de Rio de Janeiro), y un artículo de 2012 (Candeiro *et al*., *Revista Brasileira de Geociências* 42, 323-330). Roberto, Felipe y sus colegas describieron la mandíbula de un carcarodontosáurido de Brasil (Azevedo *et al*., *Cretaceous Research*, 2013, 40, 1-12), y el artículo de Felipe en el que se describía *Austroposeidon* se publicó en 2016 (Bandeira *et al*., *PLoS ONE* 11, n.º 10, e0163373). Los extraños cocodrilos de Brasil se han descrito en una serie de publicaciones (Carvalho y Bertini, *Geología Colombiana*, 1999, 24, 83-105; Carvalho *et al*., *Gondwana Research*, 2005, 8, 11-30, y Marinho *et al*., *Journal of South American Earth Sciences*, 2009, 27, 36-41).

Por alguna razón inconcebible, el barón Franz Nopcsa no ha sido objeto todavía de una biografía o de una película de envergadura. Sin embargo, se han escrito algunos artículos sobre él. Los mejores son el trabajo de Vanessa Veselka en el volumen de julio-agosto de 2016 de *Smithsonian*, un artículo de Stephanie Pain en *New Scientist* (2-8 abril de 2005) y uno de Gareth Dyke en *Scientific American* (octubre de 2011). [Hay trad. cast.: «El barón de los

dinosaurios», *Investigación y ciencia*, marzo de 2012, 426,32-35.] El paleontólogo David Weishampel, que ha pasado muchos años excavando dinosaurios en Rumanía, siguiendo los pasos del barón, ha escrito a menudo sobre Nopcsa. Presenta una imagen evocadora en su libro de 2011 *Transylvanian Dinosaurs* (Johns Hopkins University Press), y también ha colaborado con Oliver Kerscher para recopilar una serie de cartas y publicaciones de Nopcsa, junto con una breve biografía y una contextualización de su obra científica (*Historical Biology*, 2013, 25, 391-544).

El libro de Weishampel *Transylvanian Dinosaurs* es por su parte la mejor referencia general sobre los dinosaurios enanos de Transilvania. Para un resumen más técnico, hay una serie de artículos editados por Zoltán Csiki-Sava y Michael Benton, publicados como un número especial de *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* en 2010 (vol. 293). Weishampel y otros colegas han escrito también útiles artículos de revisión (*National Geographic Research*, 1991, 7, 196-215) y Dan Grigorescu (*Comptes Rendus Paleovol*, 2003, 2, 97-101). Formé parte de un equipo dirigido por Csiki-Sava que firmó una revisión más amplia de las faunas del Cretácico tardío de Europa; durante esta época hubo un número significante de islas en las que vivieron dinosaurios, y la de Transilvania ha sido la más estudiada y la más famosa (*ZooKeys*, 2015, 469, 1-161).

Mátyás Vremir, Zoltán Csiki-Sava, Mark Norell y yo publicamos dos artículos sobre *Balaur bondoc*; una breve descripción inicial en la que le dimos nombre (Csiki-Sava *et al*., *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107, 15357-61) y una monografía más extensa en la que ilustramos y describimos cada hueso en detalle (Brusatte *et al*., *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2013, 374, 1-100). También escribimos, junto a otros colegas, un artículo más integral sobre la edad y la

importancia de los dinosaurios transilvanos, con énfasis en los nuevos descubrimientos (Csiki-Sava *et al*., *Cretaceous Research*, 2016, 57, 662-98).

8. Los dinosaurios levantan el vuelo

Este capítulo cubre muchos de los temas sobre los que escribí en un artículo de *Scientific American* (enero de 2017, 316, 48-55), así como en un texto técnico a modo de recapitulación de la evolución temprana de las aves (Brusatte, O'Connor y Jarvis, *Current Biology*, 2015, 25, R888-R898) y una crónica en *Science* (2017, 355, 792-94). Gran parte del impulso para este capítulo procedía de mi tesis doctoral, sobre la genealogía de las aves y de sus parientes más cercanos y sobre patrones y tasas de evolución a lo largo de la transición de dinosaurios a aves. La defendí en 2012 (*The Phylogeny of Basal Coelurosaurian Theropods and Large-Scale Patterns of Morphological Evolution During the Dinosaur-Bird Transition*, Universidad de Columbia, Nueva York) y la publiqué en 2014 (Brusatte *et al*., *Current Biology*, 2014, 24, 2386-2392).

Existe una literatura muy abundante sobre el origen de las aves y sus relaciones con los dinosaurios. Las mejores fuentes de información y las más legibles son tres artículos de revisión por pares, escritos por Kevin Padian y Luis Chiappe (*Biological Reviews*, 1998, 73, 1-42), por Mark Norell y Xu Xing (*Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2005, 33, 277-299) y por Xu Xing otros y colegas (*Science*, 2014, 346, 1253293). El libro de Mark Norell *Unearthing the Dragon* (Pi Press, Nueva York, 2005) es uno de mis grandes favoritos, un divertido viaje a por China para estudiar a los dinosaurios con plumas, amenizado con las fotografías de uno de los mejores artistas en el mundo de los dinosaurios, mi colega Mick Ellison. En fechas

más recientes, *Birds of Stone* (Johns Hopkins University Press, 2016), de Luis Chiappe y Meng Qingjin, es un magnífico atlas de los dinosaurios con plumas y las aves primitivas de China.

Taking Wing (Trafalgar Square, 1998), de Pat Shipman, cuenta cómo los científicos reconocieron por primera vez la conexión entre dinosaurios y aves, así como los debates, a menudo encarnizados, a medida que esta hipótesis antaño controvertida se iba convirtiendo en la dominante. Huxley, Darwin, Ostrom y Bakker aparecen. El primero expuso su teoría sobre la conexión entre dinosaurios y aves en una serie de artículos, entre ellos algunos de mayor importancia, publicados en *Annals and Magazine of Natural History* (1868, 2, 66-75) y en *Quarterly Journal of the Geological Society* (1870, 26, 12-31). Los debates sobre *Archaeopteryx* se relatan en el libro de Paul Chambers *Bones of Contention* (John Murray, 2002), que cita la mayoría de la literatura relevante hasta los primeros años de la década de 2000; la descripción de un nuevo espécimen de *Archaeopteryx* por Christian Foth y otros colegas ha expandido mucho más el campo en fechas recientes (*Nature*, 2014, 511, 79-82). Es uno de los artículos que ha defendido que el origen de las alas de los terópodos estaría en la función de exhibición, de «panel de anuncios». El «artista danés» es Gerhard Heilmann, y presentó sus argumentos en su libro *The Origin of Birds* (Witherby, 1926).

Robert Bakker ha escrito el relato del renacimiento de los dinosaurios de una manera que solo él puede hacerlo, tanto en su artículo de *Scientific American* (1975, 232, 58-79) como en su libro *The Dinosaur Heresies* (William Morrow, 1986). John Ostrom publicó una letanía de artículos científicos minuciosos sobre la conexión dinosaurios-aves, los más importantes de los cuales son su meticulosa descripción monográfica de *Deinonychus* (*Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*, 1969, 30, 1-165), su ensayo en *Nature* (1973, 242, 136), su artículo de revisión en

Annual Review of Earth and Planetary Sciences (1975, 3, 55-77), y su autorizado manifiesto en *Biological Journal of the Linnean Society* (1976, 8, 91-182). También es esencial aquí señalar que los análisis cladísticos pioneros de Jacques Gauthier en la década de los ochenta situaron firmemente a las aves entre los terópodos (por ejemplo, en *Memoirs of the California Academy of Sciences*, 1986, 8, 1-55).

El primer dinosaurio con plumas (*Sinosauropteryx*) fue descrito inicialmente por Qiang Ji y Shu'an Ji como un ave primitiva (*Chinese Geology*, 1996, 10, 30-33). Después se reinterpretó como un dinosaurio emplumado no aviar por parte de Pei-ji Chen *et al*. (*Nature*, 1998, 391, 147-52) y posteriormente fue descrito en detalle por Phil Currie (Currie y Chen, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2001, 38, 705-727). Poco después de advertir que *Sinosauropteryx* era un dinosaurio con plumas, un equipo internacional anunció dos dinosaurios emplumados más encontrados en China (Ji *et al*., *Nature*, 1998, 393, 753-761), y a partir de aquí se abrieron las compuertas. Xu Xing y otros colegas han descrito la inmensa mayoría de dinosaurios emplumados descubiertos a lo largo de las dos últimas décadas los han descrito, y están bien resumidos en el libro de Norell *Unearthing the Dragon*, así como en literatura más reciente citada en los artículos de revisión por pares citados más arriba. Muchos autores han estudiado la conservación de los dinosaurios emplumados y el papel de los volcanes en su fosilización, más recientemente y de manera extensa, Christopher Rogers y otros colegas (*Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2015, 427, 89-99).

Muchos autores han discutido la composición del plan corporal de las aves. Escribí sobre ello en mi tesis doctoral y en el artículo en *Current Biology* que surgió de ella (véase más arriba). Pete Makovicky y Lindsay Zanno trataron el tema en el capítulo muy legible del libro *Living Dinosaurs* (Wiley, 2011). Las expediciones al Gobi del Museo Americano se cuentan en uno de mis

libros favoritos de ciencia de divulgación sobre dinosaurios, *Dinosaurs of the Flaming Cliffs* (Anchor, 1996), del colega neoyorquino de Mark Norell, codirector de la campaña y colega surfista de California del Sur, Mike Novacek. Algunos de los artículos más importantes sobre los fósiles del Gobi —que ilustran su importancia a la hora de entender la conformación de la biología de las aves modernas— han sido la descripción por Norell *et al*. del ovirraptorosaurio incubador (*Nature*, 1995, 378, 774-776) y el estudio de Balanoff *et al*. sobre la evolución del cerebro de las aves (*Nature*, 2013, 501, 93-96). Ya se han indicado anteriormente referencias contextuales sobre el flujo de aire a través de los pulmones y sobre el crecimiento de los dinosaurios, en la bibliografía de capítulos previos. Xu y Norell describieron un fósil espectacular de un dinosaurio de Liaoning conservado en una postura propia de un ave dormida (*Nature*, 2004, 431, 838-841), y el tejido de la cáscara de huevo al estilo del de las aves lo identificaron por primera vez en un dinosaurio Mary Schweitzer y otros colegas (*Science*, 2005, 308, n.º 5727, 1456-1460).

La evolución de las plumas de los dinosaurios ha sido objeto de una gran cantidad de investigaciones y de una extensa literatura. La recapitulación de Xu Xing y Yu Guo (*Vertebrata PalAsiatica*, 2009, 47, 311-329) es un buen punto de partida. Para una perspectiva biológica del desarrollo en la evolución de las plumas deben consultarse los muchos y excelentes artículos de Richard Prum. Darla Zelenitsky y otros colegas describieron sus ornitomimosaurios emplumados en 2012 (*Science*, 338, 510-514), y yo escogí detalles de su trabajo de campo de un artículo en el *Calgary Herald* del 25 de octubre de 2012. Jakob Vinther presentó por primera vez su metodología para determinar los colores de las plumas fósiles en un artículo de 2008 (*Biology Letters* 4, 522-525), que desencadenó varios estudios de Vinther y otros sobre los dinosaurios emplumados. Jakob hizo un repaso de

todo este ajetreo en un artículo de síntesis en *BioEssays* (2015, 37, 643-656) y en un artículo en primera persona para *Scientific American* (marzo de 2017, 316, 50-57). [Hay trad. cast.: «El color genuino de los dinosaurios», *Investigación y ciencia*, 2017 (491),74-81.] Un equipo dirigido por investigadores chinos infirió los llamativos colores de los dinosaurios alados primitivos (Li *et al*., *Nature*, 2014, 507, 350-353), y la función de exhibición de las alas la han discutido en un artículo a modo de sumario en *Science* Marie-Claire Koschowitz y colaboradores (2014, 346, 416-418). El extravagante *Yi qi* lo describieron Xu y su equipo (*Nature*, 2015, 521, 70-73).

Ha habido una literatura copiosa, y a menudo compleja, sobre las capacidades de vuelo de las primeras aves y de los dinosaurios emplumados. Un estudio reciente de Alex Dececchi y colegas, que propusieron que *Microraptor* y *Anchiornis* tenían capacidad potencial para el vuelo activo, es un buen punto de partida (*PeerJ*, 2016, 4, e2159). Los estudios ingenieriles de Gareth Dyke y otros colegas (*Nature Communications*, 2013, 4, 2489) y de Dennis Evangelista y otros colegas (*PeerJ*, 2014, 2, e632) tratan del planeo en los terópodos con plumas y dan cuenta del trabajo previo más importante.

Mis colegas y yo presentamos la teoría de las tasas rápidas de evolución morfológica en las aves primitivas en un artículo conjunto (*Current Biology*, 2014, 24, 2386-2392). Los métodos que usamos en dicho artículo los desarrollamos con Graeme Lloyd y Steve Wang y se habían descrito en un trabajo anterior (Lloyd *et al*., *Evolution*, 2012, 66, 330-348). Roger Benson y Jonah Choiniere demostraron asimismo el estallido de la especiación y la evolución de las extremidades durante la transición de dinosaurios a aves (*Proceedings of the Royal Society Series B*, 2013, 280, 20131780), y Roger Benson proponía en el estudio sobre el tamaño corporal de los dinosaurios citado arriba que la gran reducción de tamaño se daba alrededor de este

mismo punto en el árbol genealógico. Otros muchos estudios recientes también han considerado tasas de evolución hacia el momento de la transición, los cuales se citan y se discuten en los dos artículos citados arriba.

Jingmai O'Connor ha dado nombre a un copioso número de nuevas aves fósiles de China. Dos de sus obras más importantes son una genealogía de las primeras aves (O'Connor y Zhonghe Zhou, *Journal of Systematic Palaeontology*, 2013, 11, 889-906) y el capítulo, con Alyssa Bell y Luis Chiappe, del libro *Living Birds*, antes citado. El director de tesis de Jingmai, Luis Chiappe, ha publicado asimismo durante el último cuarto de siglo varios artículos importantes sobre aves primitivas.

9. La extinción de los dinosaurios

Escribí sobre la extinción de los dinosaurios en *Scientific American*, donde conté por primera vez algunas de las historias incluidas en este capítulo (diciembre de 2015, 312, 54-59). [Hay trad. cast.: «¿Qué causó la extinción de los dinosaurios?», *Investigación y ciencia*, 2016 (473),40-45.] Después de que Richard Butler y yo reuniéramos a ese grupo de colegas de todo el mundo para que intentaran llegar a un consenso sobre la extinción de los dinosaurios, publicamos un informe sobre el estado de la cuestión en *Biological Reviews* (2015, 90, 628-642). A Richard y a mí se nos unieron Paul Barrett, Matt Carrano, David Evans, Graeme Lloyd, Phil Mannion, Mark Norell, Dan Peppe, Paul Upchurch y Tom Williamson. Además, Richard y yo trabajamos con Albert Prieto-Márquez y Mark Norell en un estudio de 2012 sobre la disparidad morfológica que precedió a la extinción (*Nature Communications*, 3, 804).

Sin embargo, mi contribución al debate sobre la extinción de los

dinosaurios ha sido muy pequeña. Ha habido cientos, quizá miles de estudios publicados sobre el mayor de los misterios de los dinosaurios. No es posible que les haga justicia a todos ellos aquí, de modo que pondré a los lectores inquisitivos en la dirección del libro de Walter Álvarez *T. rex and the Crater of Doom* (Princeton University Press, 1997). [Hay trad. cast.: *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte*, Barcelona, Crítica, 1998.] Es una visión en primera persona asequible, entretenida y escrupulosa de cómo Walter y sus colegas resolvieron el enigma de la extinción del final del Cretácico. Cita todos los artículos de mayor importancia sobre el tema, incluidos los que proporcionan las pruebas del impacto, los que identificaron y dataron el cráter de Chicxulub y diversas opiniones disconformes. El relato que cuento al principio del capítulo, aunque lleno de licencias artísticas, se basa en la secuencia de acontecimientos del impacto que Álvarez describe y en las pruebas que señala.

Desde entonces, se han publicado muchos más trabajos, y gran parte de ellos se han citado y comentado en nuestro artículo de recapitulación de 2015 en *Biological Reviews*. Entre los nuevos trabajos más apasionantes —demasiado recientes para que pudiéramos citarlos en nuestro artículo— se encuentran las investigaciones realizadas por Paul Renne, Mark Richards y sus colegas de Berkeley, en las que datan los *traps* del Decán —los restos de los grandes volcanes en la India—, demuestran que la mayoría de erupciones tuvieron lugar en la frontera del Cretácico-Paleógeno y proponen que el impacto del asteroide pudo haber hecho que el sistema volcánico funcionara a toda máquina (Renne *et al*., *Science*, 2015, 350, 76-78, y Richards *et al*., *Geological Society of America Bulletin*, 2015, 127, 1507-1520). En el momento de escribir estas líneas todavía hay debate sobre la época de las erupciones del Decán y su relación con el impacto.

Desde luego, quien esté interesado en la historia de la ciencia y guste de

fuentes primarias debe consultar el artículo original en el que el equipo de Álvarez presentó la teoría del asteroide (Luis Álvarez *et al*., *Science*, 1980, 208, 1095-1108), junto con otros artículos de su equipo, así como de Jan Smit y otros colegas por la misma época.

Muchos estudios independientes han seguido la pista de la evolución de los dinosaurios durante el Mesozoico, y varios de ellos se centran en particular en el Cretácico tardío. Además del nuevo conjunto de datos que presentamos en nuestro artículo de *Biological Reviews*, los otros estudios clave más recientes los publicaron Barrett *et al*. (*Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 2009, 276, 2667-2674) y Upchurch *et al*. (*Geological Society of London Special Publication*, 2011, 358, 209-240). Los estudios modernos intentan corregir el sesgo del muestreo, pero esta es una cuestión que no se tomó en serio hasta un artículo muy importante —pero, curiosamente, en gran parte olvidado— de Dale Russell de 1984 (*Nature*, 307, 360-361). David Fastovsky, Peter Sheehan y sus colegas aprendieron la lección y, a mediados de la década de 2000, publicaron un estudio muy importante de la diversidad de los dinosaurios en el Cretácico tardío (*Geology*, 2004, 32, 877-880). El estudio de Jonathan Mitchell sobre la red trófica ecológica se presentó en un artículo de 2012 (*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 18857-18861).

Entre los estudios más importantes de los dinosaurios de Hell Creek y de cómo cambiaron después del impacto del asteroide, se incluyen los del equipo de Peter Sheehan y David Fastovsky (*Science*, 1991, 254, 835-839; *Geology*, 2000, 28, 523-526), Tyler Lyson y otros colegas (*Biology Letters*, 2011, 7, 925-928) y los meticulosos catálogos de fósiles de Dean Pearson y sus colaboradores, entre quienes se encuentran Kirk Johnson y el difunto Doug Nichols (*Geology*, 2001, 29, 39-42; *Geological Society of America Special Papers*, 2002, 361, 145-167).

El manual universitario de Fastovsky, sujeto a elogios de pasada por mi parte, es el excelente *Evolution and Extinction of the Dinosaurs* (Cambridge University Press, 2005), cuyo coautor fue David Weishampel. El libro ha conocido varias ediciones, y también está disponible en una versión más corta y directa para jóvenes estudiantes, titulada *Dinosaurs: A Concise Natural History*.

Bernat Vila y Albert Sellés han escrito muchos artículos sobre los dinosaurios del Cretácico tardío de los Pirineos. El más general de ellos es un estudio de cómo la diversidad de los dinosaurios cambió en esta región durante el periodo, un proyecto al que me invitaron generosamente a contribuir (Vila, Sellés y Brusatte, *Cretaceous Research*, 2016, 57, 552-564). Otros artículos importantes son Vila *et al*., *PLoS ONE*, 2013, 8, n.º 9, e72579, y Riera *et al*., *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 283, 160-171. En cuanto a Rumanía, el relato del final del Cretácico lo cubren los artículos citados para el capítulo 7. Por último, Roberto Candeiro, Felipe Simbras y yo hemos escrito un artículo a modo de compendio sobre los dinosaurios del Cretácico tardío de Brasil (*Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 2017, 89, 1465-8145).

La cuestión de por qué los dinosaurios no aviares murieron mientras que otros animales sobrevivieron sigue siendo un tema activo de debate. Según mi criterio, las teorías más importantes las han planteado Peter Sheehan y sus colegas, con base en las cadenas tróficas basadas en plantas frente a las basadas en detritus y en los ambientes terrestres en relación con los de aguas continentales (por ejemplo, *Geology*, 1986, 14, 868-70, y *Geology*, 1992, 20, 556-560); también Derek Larson, Caleb Brown y David Evans, sobre el tema del consumo de semillas (*Current Biology*, 2016, 26, 1325-1333); Greg Erickson y su equipo, sobre la cuestión de la incubación de los huevos y el crecimiento (*Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2017,

114, 540-545), y Greg Wilson y su director, Bill Clemens, en relación con la supervivencia de los mamíferos, la importancia de un tamaño corporal reducido y de unas dietas generalistas —por ejemplo, los artículos de Wilson en *Journal of Mammalian Evolution*, 2005, 12, 53-76, y en *Paleobiology*, 2013, 39, 429-69—. Un artículo importante de Norman MacLeod y otros colegas constituye un buen recuento de qué seres vivieron y cuáles murieron al final del Cretácico y qué es lo que esto significó para los mecanismos de mortandad (*Journal of the Geological Society of London*, 1997, 154, 265-292).

Me encanta la analogía de que los dinosaurios tenían una «mano del muerto». Me gustaría poder decir que es de mi autoría, pero fue Greg Erickson quien, hasta donde yo sé, la utilizó por vez primera, en una cita recogida en el artículo de Carolyn Gramling sobre su estudio de la incubación de los huevos («Dinosaur Babies Took a Long Time to Break Out of Their Shells», *Science*, en línea, 2 de enero de 2017).

Hay que hacer una última advertencia importante. La extinción de los dinosaurios es probablemente el tema más controvertido en la historia de la investigación de estas criaturas, al menos a juzgar por el número de hipótesis, artículos de investigación, debates y discusiones en torno a él. La situación hipotética que presento en este capítulo —la de que la extinción tuvo lugar de forma repentina y tuvo como causa principal la caída del asteroide— procede de muchas lecturas sobre el tema, de mi investigación primaria sobre los dinosaurios del Cretácico tardío y, en particular, del gran consenso general que destacamos en nuestro artículo en *Biological Reviews*. Creo firmemente que este escenario es el más coherente con las pruebas que poseemos, tanto en términos del registro geológico, ya que las pruebas de un impacto catastrófico son innegables, como del registro fósil, puesto que los estudios demuestran que los dinosaurios eran aún muy diversos hasta el momento

mismo del final.

Sin embargo, hay quienes mantienen teorías alternativas. El objetivo de este capítulo no es diseccionar todas y cada una de las teorías sobre la extinción de los dinosaurios, ya que este podría ser fácilmente el tema de un libro entero, pero valdrá la pena ofrecer algunas indicaciones de la literatura que argumenta en contra de mi versión de la extinción. Durante muchas décadas, David Archibald y William Clemens han argumentado en favor de una extinción más gradual, causada por cambios en la temperatura o en el nivel del mar; Gerta Keller y otros colegas han propuesto que las erupciones del Decán fueron el principal culpable, y, más recientemente, mi amigo Manabu Sakamoto ha usado modelos estadísticos complejos para emitir la hipótesis iconoclasta de que los dinosaurios se hallaban sometidos a un deterioro a largo plazo, en el que producían cada vez menos especies a lo largo del tiempo. El lector puede sumergirse en esta literatura para saber más cosas, y decidir por sí mismo dónde preponderan las pruebas. Hay otras propuestas escépticas o disconformes, pero esto es todo lo que tengo que decir al respecto.

EPÍLOGO. Después de los dinosaurios

Una pequeña parte del relato de Nuevo México la conté en mi artículo en *Scientific American* sobre el auge de los mamíferos (junio de 2016, 313, 28-35) [Hay trad. cast.: «El éxito evolutivo de los mamíferos», *Investigación y ciencia*, 2016 (479),18-25], cuyo coautor era Zhe-Xi Luo. Luo es uno de los expertos mundiales sobre la evolución temprana de los mamíferos, pero, lo que es más importante, es un tipo muy generoso y encantador. Al igual que Walter Álvarez, Luo fue objeto de una de mis desvergonzadas peticiones

juveniles. En la primavera de 1999, cuando yo apenas tenía quince años, mi familia y yo estábamos a punto de pasar unas vacaciones de Pascua en el área de Pittsburgh. Yo quería visitar el Museo Carnegie de Historia Natural, pero no me contentaba con ver solo lo que estaba expuesto, y quería desesperadamente realizar un recorrido entre bastidores. Había leído en el periódico acerca de los descubrimientos de Luo sobre mamíferos primitivos, después vi los detalles de su dirección en la página web del museo, de modo que me puse en contacto con él. Durante una hora, nos condujo a mi familia y a mí en un recorrido por las entrañas del almacén del museo, y cada vez que lo veo me sigue preguntando por mis padres y hermanos.

Mi querido amigo, colega y mentor Tom Williamson ha hecho una carrera del estudio de los mamíferos del Paleoceno de Nuevo México, así como de la evolución inicial de los mamíferos placentarios de manera más general. Su *magnum opus* (resultado de su trabajo en la tesis doctoral) es su monografía de 1996 sobre la anatomía, las edades y la evolución de los mamíferos del Paleoceno de Nuevo México (*Bulletin of the New Mexico Museum of Natural History and Science*, 8, 1-141). Durante los últimos años, Tom me ha estado introduciendo cada vez más en el lado oscuro de la paleontología de los mamíferos. Hemos hecho trabajo de campo conjunto desde 2011 y hemos empezado a publicar juntos algunos artículos, entre ellos una genealogía de los marsupiales primitivos (Williamson *et al*., *Journal of Systematic Palaeontology*, 2012, 10, 625-651) y la descripción de una nueva especie de mamífero herbívoro del tamaño de un castor llamado *Kimbetopsalis* (el «castor primigenio», como lo llamamos con descaro), que vivió solo unos pocos cientos de miles de años después de la muerte de los dinosaurios (Williamson *et al*., *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2016, 177, 183-208). Tom y yo estamos ahora codirigiendo a una alumna de doctorado que trabaja en la extinción del Cretácico-Paleógeno y el posterior auge de los

mamíferos, Sarah Shelley. Estén pendientes de ella.

AGRADECIMIENTOS

Mi contribución al campo de la investigación de los dinosaurios es relativamente reciente y pequeña. Como todos los científicos, me hallo sobre los hombros de los que estuvieron antes que yo y recibo la ayuda de los que trabajan junto a mí. Espero que este libro transmita lo excitantes que son las cosas en el campo de la paleontología en la actualidad y que todo lo que hemos aprendido acerca de los dinosaurios durante las últimas décadas es fruto de un esfuerzo común, del trabajo de un grupo diverso de personas maravillosas de todo el mundo, hombres y mujeres, desde voluntarios de campo y aficionados hasta estudiantes y profesores. No es posible darles las gracias a todos y cada uno, y sin duda olvidaría a muchas personas importantes si lo intentara. A todos aquellos cuyos nombres e historias aparecen en estas páginas y a todos aquellos con los que he trabajado, gracias por aceptarme en la comunidad global de la paleontología y por hacer que los últimos quince años de mi vida hayan supuesto un recorrido tan increíble.

Dicho esto, hay algunas personas que merecen una mención especial. He tenido el privilegio inaudito de tener tres directores excelentes: Paul Sereno, mi tutor como estudiante en la Universidad de Chicago; Mike Benton, cuando hice el máster en la Universidad de Bristol; y Mark Norell, durante la tesis doctoral en el Museo Americano de Historia Natural y en la Universidad de Columbia. Ahora me doy cuenta de la gran suerte que tuve, y también de lo irritante que debía de ser como alumno. Estos tres tipos me dieron unos fósiles increíbles de los que ocuparme, me llevaron a hacer trabajo de campo y a viajes de investigación por todo el mundo y, más importante todavía, me dijeron cuándo estaba haciendo el ridículo. No puedo evitar pensar que

ningún otro joven investigador de dinosaurios ha sido tan afortunado en lo que respecta al departamento de mentores.

He trabajado con muchas personas, la mayoría colegas muy buenos; los paleontólogos de dinosaurios, al menos la actual generación, constituye por lo general un grupo agradable y se llevan bien unos con otros. Pero algunos han atravesado la línea entre colaborador y amigo, y quisiera agradecer en primer lugar y, sobre todo, a Thomas Carr y Tom Williamson, así como a Roger Benson, Richard Butler, Roberto Candeiro, Tom Challands, Zoltán Csiki-Sava, Graeme Lloyd, Junchang Lu, Octávio Mateus, Sterling Nesbitt, Grzegorz Niedźwiedzki, Dugie Ross, Mátyás Vremir, Steve Wang y Scott Williams.

He tenido muchos golpes de suerte en mi incipiente carrera, ninguno de ellos mayor que el de que alguien convenciera a la Universidad de Edimburgo para que me contratara mientras acababa la tesis doctoral. Rachel Wood ha sido la mejor tutora que un miembro joven del claustro podría haber esperado, y todavía en la actualidad no me deja pagar el café, la comida, la cerveza o el whisky. Sandy Tudhope, Simon Kelley, Kathy Whaler, Andrew Curtis, Bryne Ngwenya, Lesley Yellowlees, Dave Robertson, Tim O'Shea y Peter Mathieson han sido unos jefes de la mejor clase, siempre comprensivos y nunca autoritarios. Geoff Bromiley, Dan Goldberg, Shasta Marrero, Kate Saunders, Alex Thomas y el resto de los jóvenes talentos han hecho que trabajar en Edimburgo sea divertido. Nick Fraser y Stig Walsh me han recibido en su grupo del Museo Nacional de Escocia, y Neil Clark y Jeff Liston me han dado la bienvenida al grueso de la comunidad de paleontólogos escoceses. Una de las ventajas de pertenecer al profesorado universitario es que puedo asesorar a mis propios alumnos, y un grupo maravillosamente diverso y dotado ha pasado ya por mi laboratorio; en él se incluyen Sarah Shelley, Davide Foffa, Elsa Panciroli, Michela Johnson, Amy

Muir, Joe Cameron, Paige dePolo o Moji Ogunkanmi. Es probable no seáis conscientes de lo mucho que he aprendido de cada uno de vosotros.

La ciencia es muy difícil; escribir lo es todavía más. Mis dos editores, Peter Hubbard en William Morrow en Estados Unidos y Robin Harvie en el Reino Unido, me han ayudado a dar forma a mis anécdotas y divagaciones en una narración. Hace unos pocos años, Jane von Mehren me escuchó por la radio y pensó que podía tener una historia que contar; me convenció para que preparara el borrador de un libro y, desde entonces, ha sido una agente increíble. Asimismo, quiero dar unas gracias enormes a Esmond Harmsworth y Chelsey Heller, de Aevitas, por toda la ayuda al negociar contratos y pagos y derechos en el extranjero y otras cosas divertidas. Muchas felicidades a mi colega, el incomparable artista Todd Marshall, por las ilustraciones originales que amenizan mi prosa, y a mi querido amigo Mick Ellison, el mejor fotógrafo en el mundo de los dinosaurios, por dejarme usar algunas de sus asombrosas fotografías. Y gracias a los dos abogados de mi familia, mi padre, Jim, y mi hermano, Mike, por asegurarse de que cada contrato era perfecto más allá de toda duda razonable.

Siempre me ha gustado escribir, y ha habido muchas personas que me han ayudado a hacerlo. Lonny Cain, Mike Murphy y Dave Wischnowsky me dieron la oportunidad de trabajar en la sala de prensa del periódico de mi ciudad natal, el *Times* de Ottawa, durante cuatro años. El pánico de la fecha límite y la emoción de perseguir fuentes me hicieron aprender rápidamente. Muchas personas publicaron mis escritos —a menudo horribles— de adolescencia sobre dinosaurios en sus revistas y en sus páginas web, especialmente Fred Bervoets, Lynne Clos, Allen Debus y Mike Fredericks. Más recientemente, Kate Wong en *Scientific American*, Richard Green en *Quercus*, Florian Maderspacher en *Current Biology* y Stephen Khan, Steven Vass y Akshat Rathi en *The Conversation* me han proporcionado a la vez una

plataforma y un amor editorial sin condiciones. Cuando empecé a escribir este libro, Neil Shubin, uno de mis profesores de la universidad, y Ed Yong me dieron consejos muy útiles.

Me gustaría dar las gracias a muchas agencias que se dedican a financiar investigaciones —demasiado numerosas para citarlas aquí—, por haber rechazado regularmente mis solicitudes de fondos, lo que me ha proporcionado mucho tiempo y libertad para escribir este libro. Por otra parte, mi sincera gratitud a la Fundación Nacional para la Ciencia y a la Agencia de Administración de Tierras, así como a los ciudadanos estadounidenses que pagan los impuestos que las financian, a la Sociedad Geográfica Nacional, a la Sociedad Real y al Fondo Leverhulme en el Reino Unido, y al Consejo Europeo de Investigación y a las Acciones Marie Skłodowska-Curie, así como a los contribuyentes y a los gobiernos europeos que las financian, por su soporte. También he recibido muchas ayudas menores de distinto origen y el apoyo generoso del Museo Americano de Historia Natural y de la Universidad de Edimburgo.

Tengo la mejor familia que se puede tener. Mis padres, Jim y Roxanne, me arrastraban a los museos cada vez que íbamos de vacaciones en familia y se aseguraron de que pudiera estudiar paleontología en la universidad. Mis hermanos, Mike y Chris, dieron siempre su apoyo. En la actualidad, mi esposa, Anne, también me lo da. Tolera mis ausencias durante los trabajos de campo, así como las veces que necesito aislarme en la planta de arriba para escribir, y a los diversos invitados y compañeros de pub obsesionados por los dinosaurios a los que atraigo inevitablemente. Anne incluso ha leído borradores de este libro, aunque no tiene ningún interés por los dinosaurios. ¡Te quiero mucho! Los padres de Anne, Peter y Mary, me han dejado pasar mucho tiempo en su casa de Bristol, un lugar tranquilo para escribir. Tengo asimismo otros magníficos parientes políticos, como Sarah, la hermana de mi

esposa, y la mujer de Mike, Stephenie.

Finalmente, mi agradecimiento a todos aquellos héroes olvidados, esos que permanecen en el anonimato pero sin los cuales nuestro campo acabaría por extinguirse. Los preparadores de fósiles, los técnicos de campo, los estudiantes asistentes, la secretaría y la administración de la universidad, los mecenas que visitan museos y hacen donativos a las universidades, los periodistas científicos y escritores de reportajes, los artistas y fotógrafos, los editores de revistas y los revisores de estas, los coleccionistas aficionados que son responsables y donan sus fósiles a los museos, las personas que administran el terreno público y gestionan los permisos —en particular mis amigos en la Agencia de Administración de Tierras, en el Patrimonio Nacional Escocés y en el Gobierno escocés—, los políticos y las agencias federales que dan apoyo a la ciencia —y que se enfrentan a los que no lo hacen—, los que pagan impuestos y los votantes que sustentan la investigación, todos los profesores de ciencias a todos los niveles y muchísimas más personas.

Índice alfabético

Los números de página en *cursiva* corresponden a ilustraciones.

Acrocanthosaurus
Aerosteon
África
  expediciones de Sereno
  formación de
Age of Reptiles, The (mural de Zallinger)
Albania
Albertosaurus
Alioramus
Allosaurus
  formación Morrison
Álvarez, Luis
Álvarez, Walter
  T. rex and the Crater of Doom
análisis de elementos finitos (AEF)
Anchiornis
angiospermas
Ankylosaurus
Anomoeupus
anquilosaurios
Apatosaurus
árbol genealógico de los dinosaurios
  dinosauromorfos
  elaboración
Archaeopteryx
arcosaurios
  linaje aviar
  linaje crocodiliano

postura erecta
Argentina
Argentinosaurus
Armadillosuchus
Asaro, Frank
asteroide, impacto de un
aparición de los mamíferos
como causa de la extinción
investigación de Álvarez
Atreipus
Austroposeidon
avemetatarsalianos
Averianov, Alexander (Sasha)
aves
asteroide del Cretácico
colores de las plumas
como dinosaurios
eficiencia pulmonar
evolución de
nidos
orígenes en los arcosaurios
orígenes en los terópodos
rastros digitígrados

bacterias
Bakker, Robert
Balanoff, Amy
Balaur bondoc
Baldwin, David
Barosaurus
estimación del tamaño
Barrett, Paul
Bates, Karl
Batrachotomus
Baurusuchus
Beipiaosaurus

Benton, Mike
Bever, Gabe
Bonaparte, José
Bosque Petrificado, Parque Nacional del (Estados Unidos)
Brachiosaurus
Brasil
Brassey, Charlotte
Brochu, Chris
Brontosaurus
  formación Morrison
  tamaño de
Brown, Barnum
Brusatte, Steve
Burch, Sara
Butler, Ian
Butler, Richard

Camarasaurus
Cámbrico, periodo
Camptosaurus
Candeiro, Roberto
Carcharodontosaurus
Carnotaurus
Carr, Thomas
Caudipteryx
Cenozoica, era
Centrosaurus
ceratópsidos
  véase también Triceratops
Ceratosaurus
Challands, Tom
Charig, Alan
Chilantaisaurus
China
  abundancia de fósiles
  aves de Liaoning

dinosaurios emplumados de Liaoning
Sinosauropteryx
Zhenyuanlong
véase también tiranosaurios; Xu Xing
Chindesaurus
Chinle, formación (Estados Unidos)
Chromogisaurus
cladístico, análisis
clatratos
Cleveland-Lloyd (Utah), cantera de dinosaurios de
clima
asteroide del Cretácico
Cretácico
dinosaurios desertícolas del Triásico
división de Pangea en el Jurásico
división de Pangea en el Triásico
hiperestacionalidad del Triásico
megamonzones del Triásico
sauna para dinosaurios del Triásico
volcanes del Pérmico
zona húmeda de dinosaurios del Triásico
Coelophysis
Coelurus
Colbert, Edwin
Colbert, Stephen
Coloradisaurus
cometa, impacto de, *véase* impacto de asteroide
Compsognathus
Concavenator
convergencia
Cope, Edward Drinker
coprolitos
Cretácico, periodo
carencia de fósiles
carnívoros
continentes

cuenca de Brasil
diversidad de los dinosaurios
extinción de los dinosaurios
fósiles del desierto del Sáhara
Paleógeno posterior
plantas con flores
saurópodos
transición del Jurásico
véase también impacto de asteroide; Hell Creek, formación de; tiranosaurios
crocodilios
asteroide del Cretácico
Brasil del Cretácico
convergencia con los dinosaurios
disparidad morfológica con los dinosaurios
especies del Triásico
investigadores de
mucho más numerosos que los dinosaurios
orígenes arcosaurios
cronología de la historia geológica
dinosaurios verdaderos
historia evolutiva de la vida
Csiki-Sava, Zoltán
cuencas (cuencas de rift)
Currie, Phil

Darwin, Charles
El origen de las especies
datación radiométrica
Deinonychus
dicinodontes
digitígrados, rastros
Dilong
Dilophosaurus
Dingus, Lowell
dinosaurios
ancestros del Cámbrico

convergencia con los crocodilios
crecimiento de
cronología
definición de los verdaderos dinosaurios
descubrimientos semanales
disparidad morfológica con los crocodilios
diversidad del Cretácico
Edad de los Dinosaurios
era Mesozoica
estereotipos equivocados
estimación del tamaño
explicaciones del tamaño
extinción del Cretácico
Gran Sala de los Dinosaurios
huevos y nidos
los mayores
océanos no conquistados
orígenes arcosaurios
postura erecta de los arcosaurios
rastros digitígrados
supervivencia a la división de Pangea
uniformidad global del Jurásico
verdaderos dinosaurios
dinosaurios desertícolas
dinosauromorfos
dióxido de carbono
Diplodocus
formación Morrison
diques capa
Disney, Walt
disparidad morfológica
distancias, matriz de
Doda, Bajazid Elmaz
Dreadnoughtus
Drinker
Dromomeron

Dryosaurus
Dyslocosaurus

Edad de los Dinosaurios
edades de hielo
Edmontosaurus
Effigia okeeffeae (pseudosuquio)
Ehrlichman, John
Eocarcharia
Eodromaeus
Eoraptor
Eotyrannus
Erickson, Greg
Escocia
espinosaurios
estimación del peso corporal
Eubrontes
Eucoelophysis
extinción, *véase* extinción en masa
extinción en masa
  asteroide del Cretácico
  dinosaurios del Cretácico
  evidencia del asteroide del Cretácico
  fragmentación de Pangea en el Triásico
  paso del Cretácico al Paleógeno
  postura erecta y
  rastros en las montañas de Santa Cruz
  volcanes del Pérmico
Ezcurra, Martín

Falkingham, Peter
Fastovsky, David
filogenia, *véase* árbol genealógico
fitosaurios
fósiles corporales
fotogrametría

fuerzas de estrés en los esqueletos

Galeamopus
Gargoyleosaurus
Ghost Ranch
Giganotosaurus
Giraffatitan
Gobi, desierto del (Mongolia)
Gondwana
gorgonopsios
Gorgosaurus
Grallator
Guanlong
Gubbio (Italia)
guerras de los Huesos

hadrosaurios
  véase también Edmontosaurus
Halley, cometa
Haplocanthosaurus
Hartford, cuenca de
Haubold, Hartmut
Hayden, cantera (Nuevo México)
Hell Creek (Montana), formación
  asteroide del Cretácico
  expedición del Museo Burpee
  fósiles del Cretácico
Henderson, Mike
Herrera, Victorino
Herrerasaurus
Hesperosaurus
Heterodontosaurus
hiperestacionalidad del Triásico
Holmes, Arthur
Horner, Jack
Howe (Wyoming), cantera

Hutchinson, John
Huxley, Thomas Henry

Iguanodon
impacto del meteorito, *véase* impacto del asteroide
India
invernadero, efecto
invertebrados, paleontología de
Irmis, Randy
Ischigualasto (Argentina), Parque Provincial de

Jaklapallisaurus
Jurásico, periodo
  abundancia de fósiles
  aparición de los tiranosaurios
  Archaeopteryx
  cuenca de Newark
  Era de los Dinosaurios
  fragmentación lenta de Pangea
  mural de Zallinger
  rastros en la isla de Skye
  rastros en las montañas de Santa Cruz
  rastros en las montañas Watchung
  saurópodos de la isla de Skye
  transición al Cretácico
  transición del Triásico
  uniformidad global
  volcanes de rift de Pangea
  véase también Morrison, formación
Juratyrant

Kaatedocus
Kelmayisaurus
Kileskus

Lakes, Arthur

Laramidia
Laurasia
Leptoceratops
Lesothosaurus
Lessa, Tony
Lessemsaurus
Lloyd, Graeme
Lü, Junchang
Lucas, Oramel
Lucy, fósil de
Lyson, Tyler

Machaeroprosopus
Magyarosaurus
Maidment, Susie
Majungasaurus
mamíferos
  ancestros del Triásico
  asteroide del Cretácico
  sinápsidos protomamíferos
  supervivientes del asteroide del Cretácico
manto
mapa de cuadrícula
mapa de la Tierra prehistórica
Mapusaurus
Mariliasuchus
Marruecos
Marsh, Othniel Charles
Marshosaurus
Martínez, Ricardo
Mateus, Octávio
Megalosaurus
megamonzones
melanosomas
Mesozoica, era
  aparición de los mamíferos

censos de especies de dinosaurios
como era de los dinosaurios
Metoposaurus (anfibio)
Michel, Helen
Microraptor
Mitchell, Jonathan
Monolophosaurus
Montanari, Alessandro
Monumento Nacional de los Dinosaurios (Estados Unidos)
morfoespacio
Morrison, formación (Estados Unidos)
cantera Howe
depredadores
guerras de los Huesos
saurópodos
museos
Instituto y Museo de Ciencias Naturales (San Juan)
Museo Americano de Historia Natural (Nueva York)
Museo Burpee de Historia Natural
Museo de Historia Natural de Londres
Museo de las Rocosas (Montana)
Museo Peabody de Yale
Museo Real Tyrrell de Paleontología
Museo Staffin
Museu da Lourinhã
Saurieruseum
Mymoorapelta

Nambalia
nanismo insular
National Geographic
Nature
Neovenator
Nesbitt, Sterling
Newark (Nueva Jersey), cuenca del
nicho, partición del

Niedźwiedzki, Grzegorz
Níger, expediciones al
Nigersaurus
Nixon, Richard
Nopcsa von Felsö-Szilvás, Franz
Norell, Mark
  proyecto del Gobi
Norteamérica
  asteroide del Cretácico
  ausencia de saurópodos
  carcarodontosaurios
  cementerios de dinosaurios
  cuencas de rift
  dinosaurios emplumados
  dinosauromorfos
  división de Pangea
  nivel del mar del Cretácico
  sectores áridos
  Tyrannosaurus rex
Nyasasaurus

océanos
  acidez
  asteroide del Cretácico
  clima del Cretácico
  formación del Atlántico
  fusión de clatratos
  nivel del mar del Cretácico
  Pantalasa
  reptiles no dinosaurios
O'Connor, Jingmai
O'Keeffe, Georgia
Olsen, Paul
Ornitholestes
ornitisquios
  como ancestrales

formación Morrison
Jurásico después de la división de Pangea
Pangea del Triásico
proliferación del Cretácico
pulmones y tamaño
ornitomimosaurios
Osborn, Henry Fairfield
Ostrom, John
Othnielia
Othnielosaurus
Otozoum
ovirraptores

Pachycephalosaurus
Page, Jimmy
Paleógeno, periodo
aparición de los mamíferos
asteroide del Cretácico
paleomagnetismo
Paleozoica, era
Palisades (Nueva Jersey)
Pangea
carcarodontosaurios y
convergencia crocodilios–dinosaurios
cuencas de rift
dique capa de Palisades
disparidad morfológica crocodilios–dinosaurios
división
división lenta
extinciones de la división
formación Chinle
hiperestacionalidad
resto de Portugal
zona húmeda de dinosaurios
Panphagia
Pantalasa

Parachirotherium
pareiasaurios
Parker, Bill
Patagotitan
Pearson, Dean
Pérmico, periodo
  despatarrados frente a erguidos
  extinción en masa volcánica
  rastros en las montañas de Santa Cruz
  transición del Triásico
peso, estimación del
Pisanosaurus
plantas
  asteroide del Cretácico
  con flores
  después de los volcanes del Jurásico
  extinción de la división de Pangea en el Triásico
  extinción en masa del Pérmico
  hiperestacionalidad del Triásico
  Parque Nacional del Bosque Petrificado
Plateosaurus
plumas
  Archaeopteryx
  colores de
  Dilong
  dinosaurios emplumados de Liaoning
  evolución de
  ornitomimosaurios
  Psittacosaurus
  Sinornithosaurus
  Sinosauropteryx
  Tyrannosaurus rex
  Yutyrannus
  Zhenyuanlong
Polonia
  evolución del tipo de rastro

Instituto Polaco de Paleobiología
montañas de Santa Cruz
paleontólogo Grzegorz Niedźwiedzki
periodo Pérmico
Prorotodactylus
Portugal
postura erguida
Premoli Silva, Isabella
Proceratosaurus
Prorotodactylus
Protarchaeopteryx
Protoceratops
protosaurópodos
pseudosuquios
convergencia con los dinosaurios
disparidad morfológica con los dinosaurios
más numerosos que los dinosaurios
rastros que desaparecen
Psittacosaurus
pterodáctilos, *véase* pterosaurios
pterosaurios
pulmones, eficiencia de los
Pycnonemosaurus

Qianzhousaurus

rareza de los depredadores insulares
rastros fósiles
coprolitos
de *Prorotodactylus*
digitígrados
en la isla de Skye
en las montañas de Santa Cruz
en las montañas Watchung
erectos frente a despatarrados
evolución del tipo de rastro

rauisuquios
Saurosuchus, depredador apical
Rayfield, Emily
Redschlag, Helmuth
Reed, William
Reig, Osvaldo
rift, cuencas de
Riker Hill, Localidad Fósil de (Nueva Jersey)
Rinconsaurus
rincosaurios
Riojasaurus
Romer, Alfred Sherwood
Roosevelt, Theodore W.
Ross, Dugald
Rotodactylus
Rugops
Rusia

Sáhara, expediciones al desierto del
Sanjuansaurus
Sarcosuchus
Saturnalia
Sauriermuseum (Zúrich)
saurópodos
auge de
cuello largo de
de Escocia
del Cretácico
del Jurásico después del rift de Pangea
del Jurásico globalmente
dinosaurios de la zona húmeda de la India
eficiencia de los pulmones
formación Morrison
tamaño de
Saurosuchus
Scelidosaurus

Science
Scutellosaurus
selección natural
Sellés, Albert
Sereno, Paul
  expediciones africanas
  formación Morrison
  Ischigualasto y
  Universidad de Chicago
Shaochilong
Sheehan, Peter
Siats
Siber, Kirby
Siberia
Simbras, Felipe
sinápsidos
Sinornithosaurus
Sinosauropteryx
Sinotyrannus
Sinraptor
Skorpiovenator
Skye, isla de (Escocia)
Smit, Jan
Smith, Nate
Sphingopus
Spielberg, Steven
Staurikosaurus
Stegosaurus
Stocker, Michelle
Stokesosaurus
Stromer von Reichenbach, Ernst
Suchomimus
Sudamérica
  Aerosteon
  asteroide del Cretácico
  Brasil

carcarodontosaurios
Gondwana
periodo Cretácico
saurópodos
Sues, Hans-Dieter
supersalamandras
Suuwassea

TAC
tamaño, estimación del
Tanycolagreus
Tarbosaurus
Tawa
tectónica de placas
continentes del Cretácico
corrientes del manto
paleomagnetismo
Pangea
véase también cuencas de rift de Pangea
Telmatosaurus
terópodos
aves a partir de
del Cretácico del Brasil
del Jurásico
del Triásico
eficiencia pulmonar
huevos y nidos
molde de rastro en la Casa Blanca
plumas; *véase también* plumas
tamaño del bulbo olfativo
Therrien, François
Thescelosaurus
tiempo meteorológico, *véase* clima
Tierra
asteroide del Cretácico
continentes del Cretácico

cronología de la historia geológica
véase también clima
cuencas de rift de
historia evolutiva de la vida
Pangea; *véase también* Pangea
paso del Jurásico al Cretácico
Tierra, mapa mundial de la
Timurlengia
tiranosaurios
ausencia en el hemisferio sur
evolución de
plumas
Qianzhousaurus
titanosaurios
Torrejonia (mamífero)
Torvosaurus
Transilvania, dinosaurios de
Triásico, periodo
clima
cuenca de Newark
dinosaurios desertícolas
dinosaurios verdaderos
dinosauromorfos
dique capa de Palisades
disparidad morfológica pseudosuquios–dinosaurios
Pangea; *véase también* Pangea
postura erecta
protosaurópodos
pseudosuquios
rastros en las montañas de Santa Cruz
rastros en las montañas Watchung
retos de la datación
transición al Jurásico
transición del Pérmico
Triceratops
Troodon

Turner, Alan
Typothorax
Tyrannosaurus rex
árbol genealógico
Burch, experta en los brazos
carnívoro
cerebro
comportamiento de jauría
crecimiento de
descripción
descubrimiento de Brown
eficiencia pulmonar
evolución del tamaño
extinción de
órganos de los sentidos
plumas
señoreo de Norteamérica
T. rex and the Crater of Doom (Álvarez)
TAC
tamaño
velocidad de
Tyrannotitan

Universidad de Edimburgo (Escocia)
Upchurch, Paul
Uzbekistán

Vancleavea
Velociraptor
Vila, Bernat
Vinther, Jakob
volcanes
asteroide del Cretácico
clima del Cretácico
diques capa
efectos globales en el Pérmico

fragmentación de Gondwana
fragmentación de Pangea
monte Kilimanjaro
Vremir, Mátyás

Wang, Steve
Watchung (Nueva Jersey), montañas
Werning, Sarah
Whitaker, George
Whiteside, Jessica
Wilkinson, Mark
Williams, Scott
Williamson, Tom
Witmer, Larry

Xie, Sr.
Xu Xing

Yale, Museo Peabody de
Yanornis
Yellowstone
Yi qi
Yucatán, cráter en la península de
Yutyrannus

Zachełmie, cantera de
Zallinger, Rudolph

Notas del traductor

[1] En ecología, el nicho no es solo el lugar físico que ocupa una especie, sino la función de esta en el ecosistema.

[2] En castellano en el original.

[3] Geraldo Rivera, un conocido presentador de televisión estadounidense.

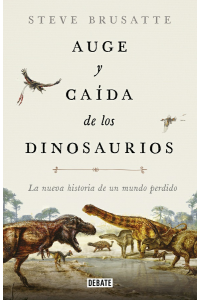
[4] Conjunto de ocho universidades privadas y de excelencia académica del nordeste de Estados Unidos, entre ellas Harvard, Yale, Princeton y Columbia.

[5] «¿Qué hay en el congelador de John?»

[6] Literalmente, «arroyo del infierno».

[7] «Cuatro esquinas» en castellano; región del oeste de Estados Unidos, única del país en la que coinciden las fronteras de cuatro estados: Utah, Colorado, Nuevo México y Arizona.

Los dinosaurios, como jamás te los habían contado.



Tiranosaurios primitivos del tamaño de un ser humano, monstruos carnívoros de dimensiones descomunales, misteriosos reptiles emplumados... Los dinosaurios, las criaturas más formidables de la Tierra, se desvanecieron hace ya sesenta y seis millones de años, pero siguen siendo uno de los misterios más intrigantes de todos los tiempos.

En *Auge y caída de los dinosaurios* la joven estrella de la paleontología Steve Brusatte repasa la evolución de estos extraordinarios seres mientras nos hace partícipes de sus apasionantes expediciones alrededor del mundo y sus recientes descubrimientos, que ponen en entredicho todo cuanto creíamos saber sobre la evolución de los dinosaurios.

Desde los inicios del Triásico hasta su repentina y catastrófica extinción al final del Cretácico, este electrizante libro redefine la historia de un mundo perdido y desentierra los enigmáticos orígenes, la catastrófica extinción, la enorme diversidad y el apasionante legado de unas criaturas legendarias.

Reseñas:
«Una obra maestra de la divulgación científica.»
The Washington Post

«La biografía definitiva sobre los dinosaurios. Sencillamente fascinante.»
Scientific American

«Steve Brusatte está liderando algunas de las investigaciones más emocionantes que existen actualmente sobre los dinosaurios y nos sabe transmitir esa emoción en su libro.»
Carl Zimmer, *The New York Times*

«Si alguna vez has amado a los dinosaurios debes comprar este libro. [...] Brusatte hace con los dinosaurios lo que E.O. Wilson hizo con las hormigas y Carl Sagan con las estrellas.»
The Washington Times

«Una esclarecedora narración científica, extremadamente visceral, que nos permite caminar junto a estas criaturas por sus albores en el Triásico, su reinado jurásico y su repentina caída.»
Nature

«Una lectura indispensable para los apasionados de estos antiguos reptiles y su mundo perdido.»
Kirkus Reviews

«Excelente. A la escritura de Brusatte no le falta brío, vigor ni energía. Los entusiastas de los dinosaurios están de enhorabuena.»
Current Biology

«Fascinante. Divulgación científica en todo su esplendor.»
Booklist

«Cautivador. Ciencia de primera clase. [...] Espléndido.»
Publishers Weekly

«Un estudio apasionante. Sin duda el mejor libro sobre los dinosaurios desde los años ochenta. Brusatte escribe con la autoridad que le confiere ser uno de los expertos más destacados de su campo.»
Sunday Times

Sobre el autor

Steve Brusatte es una joven promesa de la paleontología, además de biólogo evolutivo. Actualmente colabora con la Universidad de Edimburgo, aunque completó sus estudios en la Universidad de Chicago y se doctoró en la Universidad de Columbia. Especializado en anatomía y evolución de los dinosaurios, escribe frecuentemente para la revista *Scientific American*, entre otras publicaciones científicas de primer nivel, y es autor de uno de los libros de texto de referencia en su campo: *Dinosaur Paleobiology*. También colabora como paleontólogo experto en el programa de la BBC *Walking with Dinosaurs*. Originario de Chicago, vive con su mujer Anne en Edimburgo.

Título original: *The Rise and Fall or the Dinosaurs: A New History of a Lost World*

Edición en formato digital: junio de 2019

© 2018, Stephen (Steve) Brusatte
© 2019, Penguin Random House Grupo Editorial, S. A. U.
Travessera de Gràcia, 47-49. 08021 Barcelona
© 2019, Joandomènec Ros i Aragonès, por la traducción

Adaptación del diseño original de Bonni Leon-Berman y Todd Marshall.
Cuando no se especifica la procedencia, las fotografías son cortesía del autor.

Diseño de la cubierta: Penguin Random House Grupo Editorial, a partir del diseño original de Mumtaz Mustafa
Ilustración de la cubierta: © Todd Marshall

Penguin Random House Grupo Editorial apoya la protección del *copyright*. El *copyright* estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Gracias por comprar una edición autorizada de este libro y por respetar las leyes del *copyright* al no reproducir ni distribuir ninguna parte de esta obra por ningún medio sin permiso. Al hacerlo está respaldando a los autores y permitiendo que PRHGE continúe publicando libros para todos los lectores. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, http://www.cedro.org) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.

ISBN: 978-84-1763-631-9

Composición digital: M.I. Maquetación, S.L.

www.megustaleer.com

Penguin
Random House
Grupo Editorial

megustaleer

Descubre tu próxima lectura

Apúntate y recibirás recomendaciones de lecturas personalizadas.

Visita:
ebooks.megustaleer.club

@megustaleerebooks @megustaleer @megustaleer

Índice

Auge y caída de los dinosaurios

Cronología de la era de los dinosaurio
Árbol genealógico de los dinosaurios
Los continentes en distintos momentos de la historia de la Tierra
Prólogo. La edad de oro de los descubrimientos
1. El alba de los dinosaurios
2. Los dinosaurios prosperan
3. Los dinosaurios se hacen dominantes
4. Dinosaurios y continentes a la deriva
5. Los dinosaurios tiranos
6. El rey de los dinosaurios
7. Los dinosaurios en la cumbre del éxito
8. Los dinosaurios levantan el vuelo
9. La extinción de los dinosaurios
Epílogo. Después de los dinosaurios
Notas sobre las fuentes
Agradecimientos
Índice alfabético
Notas del traductor

Sobre este libro
Sobre el autor
Créditos